NEDO 再生可能エネルギー技術白書 第2版

再生可能エネルギー普及拡大にむけて克服すべき課題と処方箋

独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 編
New Energy and Industrial Technology Development Organization

第1章　再生可能エネルギーの役割
第2章　太陽光発電
第3章　風力発電
第4章　バイオマスエネルギー
第5章　太陽熱発電·太陽熱利用
第6章　海洋エネルギー
第7章　地熱発電
第8章　中小水力発電
第9章　系統サポート技術
第10章　スマートコミュニティ



独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

第４章 バイオマスエネルギー

4.1 バイオマスエネルギーの概観 4
4.1.1 バイオマス資源・変換技術・利用形態の体系 4
(1) バイオマス資源 4
(2) バイオマスエネルギー変換技術と利用形態 6
4.1.2 導入ポテンシャル，導入目標，導入実績 7
(1) 導入ポテンシャル 7
(2) 導入目標 9
(3) 導入実績 11
4.2 バイオマス発電 13
4.2.1 技術の概要 13
(1) 技術の俯瞰 13
(2) バイオマス発電コスト 20
4.2.2 導入目標，導入実績 23
(1) 導入目標 23
(2) 導入実績 23
4.2.3 世界の市場動向 27
(1) 市場の現状および将来見通し 27
(2) 市場動向 28
4.2.4 各国の技術開発動向 32
(1) 欧州 32
(2) 米国 33
(3) 日本 35
4.2.5 世界のビジネス動向 37
(1) 直接燃焼 37
(2) 熱分解ガス化 40
(3) メタン発酵 42
4.3 バイオマス熱利用 46
4.3.1 技術の概要 46
(1) 技術の俯瞰 46
(2) バイオマス熱利用コスト 52
(3) 欧州 53
(4) 日本 56
4.3.2 世界の市場動向 57
4.3.3 各国の技術開発動向 59
(1) 欧州 59

（2）米国 60
（3）日本 61
4.3.4 世界のビジネス動向 63
（1）ペレットボイラ，チップボイラ 63
（2）ペレットミル 65
（3）ペレットストーブ 66
（4）炭化固体燃料 66
4.4 バイオマス輸送燃料 67
4.4.1 技術の概要 68
（1）技術の俯瞰 68
（2）製造コスト 73
4.4.2 導入目標，導入実績 76
（1）導入目標 76
（2）導入実績 78
4.4.3 世界の市場動向 80
（1）市場の現状および将来見通し 80
（2）国別および地域別のメーカーと生産動向 81
4.4.4 各国の技術開発動向 84
（1）バイオマス輸送燃料全般 84
（2）エタノール発酵 90
（3）バイオディーゼル燃料 93
（4）藻類由来のバイオ燃料 93
（5）BTL（ガス化液体燃料） 95
4.4.5 世界のビジネス動向 95
（1）第二世代エタノール 95
（2）藻類由来バイオ燃料 99
（3）BTL（ガス化液体燃料製造） 100
4.5 今後に向けた課題 101
4.5.1 国内市場の拡大とその市場への対応に関する課題 102
（1）安価・安定的な原材料確保 102
（2）利用基盤整備 102
（3）エネルギー変換・利用技術 103
（4）メンテナンス体制などの整備 104
（5）バイオマスエネルギーシステムの構築に向けて 105
4.5.2 国際競争に関する課題 105
（1）パッケージ化および技術輸出 105
（2）国内外企業との連携 106
（3）途上国などのニーズ把握，事業環境把握 106
4.5.3 まとめ 106

4.1 バイオマスエネルギーの概観

4.1.1 バイオマス資源・変換技術・利用形態の体系

バイオマスとは，動植物に由来する資源のうち，化石燃料を除いたものであり，これらを用いたエネルギー利用は再生可能なエネルギーとして位置づけられる．

バイオマスをエネルギー利用する際の流れを**図 4-1** に示す．図内では左から，原料として使用するバイオマス，燃料化（固体燃料，気体燃料，液体燃料など），そしてこれらを結びつけるエネルギー変換技術と利用形態を示している．

本章では，エネルギー利用形態の切り口から，エネルギー変換技術を発電，熱，輸送燃料に区分して解説する．

4.2 節以降でこれらの解説に入る前に，バイオマス資源，バイオマス変換技術，利用形態，バイオマスエネルギー賦存量など，共通事項を概観する．

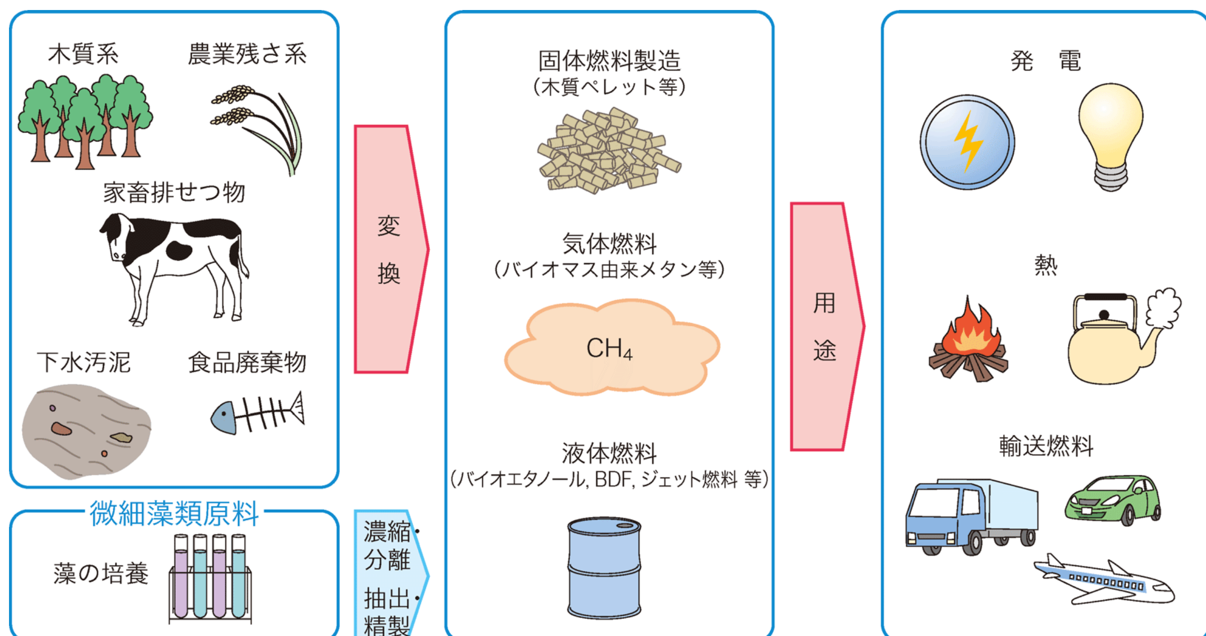


図 4-1　バイオマス資源のエネルギー利用の流れ

（1）バイオマス資源

バイオマス資源は，**表 4-1** に示すとおり，廃棄物系資源，未利用系資源，生産系資源の 3 つに大別され，その用途にはエネルギー利用のほか，飼料，肥料，建材などの材料など，さまざまなものがある．

中でも，最もエネルギー利用として用いられるのは，廃棄物系資源である．廃棄物系資源は，適切に処分することが義務付けられていることから，処分コスト低減のためにエネルギーとして有効利用したり，減容化のための中間処理として焼却することが一般的に行われ，これらの過程でエネルギー利用として用いられる．

表 4-1　バイオマス資源の種類

バイオマス資源	廃棄物系資源	木質系バイオマス	製材工場残材	
			建設発生木材	
		製紙系バイオマス	古紙	
			製紙汚泥	
			黒液	
		家畜排せつ物	牛ふん尿	
			豚ふん尿	
			鶏ふん尿	
			その他家畜ふん尿	
		生活排水	下水汚泥	
			し尿・浄化槽汚泥	
		食品廃棄物	食品加工廃棄物	
			食品販売廃棄物	卸売市場廃棄物
				食品小売業廃棄物
			厨芥類	家庭系厨芥
				事業系厨芥
			廃食用油	
		その他	埋立地ガス	
			紙くず・繊維くず	
	未利用系資源	木質系バイオマス	森林バイオマス	林地残材
				間伐材
				未利用樹
			その他木質系バイオマス（剪定枝など）	
		農業残さ系	稲作残さ	稲わら
				もみ殻
			麦わら	
			バガス	
			その他農業残さ	
	生産系資源	木質系バイオマス	短周期栽培木材	
		草本系バイオマス	牧草	
			水草	
			海草	
		その他	藻類	
			糖・でんぷん	
			植物油	パーム油
				菜種油

未利用系資源は，逆有償で処分する義務が伴わないもので，山林に放置される林地残材などが代表例である．現状では，収集のためのコストが高いため未利用となっているものの，収集コストを低減し，エネルギー利用することが期待されている．

生産系資源は，本書ではエネルギー利用を目的に栽培するバイオマス資源であり，特に短周期栽培木材などが挙げられる．

バイオマスを貴重な資源ととらえ，適切な利用の促進を明確化した一つのきっかけは，2006 年に閣議決定された「バイオマス・ニッポン総合戦略」である．この戦略の中で，バイオマスの利用方法として，製品利用だけでなく，エネルギー利用が明記されている．

その後，関係省庁などで，バイオマス利用推進のためのさまざまな検討や普及促進策が展開され，「バイオマス活用推進基本計画」（2010 年閣議決定）では，バイオマスの利用を一層促進するための 2020 年の利用率目標を掲げている（**表 4-2**）.「バイオマス活用推進基本計画」は，バイオマスの活用推進に関する施策を総合的かつ計画的に推進することを目的とした「バイオマス活用推進基本法（平成 21 年法律第 52 号）」に基づき，閣議決定されたものである．同計画では，バイオマスの利用率および資源作物の生産拡大に関する目標が達成されることを前提として，炭素換算量で年間約 2,600 万 t のバイオマスの利用を目標としている．ただし，利用方法には素材原

料などとしてのマテリアル利用も含むため，エネルギー利用に限らないことに留意したい．

表 4-2　バイオマス活用推進基本計画による利用率

バイオマスの種類	現在の年間発生量	現在の利用率	2020 年の目標
家畜排せつ物	約 8,800 万 t	約 90 %	約 90 %
下水汚泥	約 7,800 万 t	約 77 %	約 85 %
黒液	約 1,400 万 t※1	約 100 %	約 100 %
紙	約 2,700 万 t	約 80 %	約 85 %
食品廃棄物	約 1,900 万 t	約 27 %	約 40 %
製材工場残材	約 340 万 t※1	約 95 %	約 95 %
建設発生木材	約 410 万 t	約 90 %	約 85 %
農作物非食用部	約 1,400 万 t	30 %（すき込みを除く）	約 45 %
（農業残さ）		85 %（すき込みを含む）	約 90 %
林地残材	約 800 万 t※1	ほとんど未利用	約 30 %以上※2

※1：黒液，製材工場等残材，林地残材については乾燥重量，他のバイオマスについては湿潤重量．
※2：数値は現時点での試算値であり，今後「森林・林業再生プラン」（2009 年 12 月 25 日公表）に掲げる木材自給率 50%達成に向けた具体的施策とともに検討し，今後策定する森林・林業基本計画に位置づける予定．
出典：「バイオマス活用推進基本計画」（2010，農林水産省）より NEDO 作成

（2）バイオマスエネルギー変換技術と利用形態

バイオマスエネルギー変換技術は，物理的変換，熱化学的変換，生物化学的変換の 3 つに分類できる．物理的変換とは，薪，木質チップ，木質ペレットなどの燃料の，運搬効率や燃焼効率の向上を目的とした成形などを指し，この中には固体バイオマス燃料製造も含まれる．熱化学的変換や生物化学的変換には，気体燃料製造，液体燃料製造，固体バイオマス燃料製造などの多様な方法があり，**表 4-3** に示すように，本章の 3 分類（発電，熱利用，輸送燃料）との対応と併せて分類される．

表 4-3　バイオマスエネルギー変換技術とエネルギー利用形態との関係

エネルギー変換技術			エネルギー利用形態		
			発電	熱利用	輸送燃料
物理的変換	固体燃料製造	薪，チップ	○	○	−
		ペレット，ブリケット			
		RDF※1，バイオソリッド※2 等			
熱化学的変換	気体燃料製造	熱分解ガス化	○	○	−
		水熱ガス化	△	△	−
	液体燃料製造	BTL（ガス化 - 触媒反応）	−	−	△
		バイオディーゼル燃料製造（エステル交換・酸化安定化）	○※3	−	○
		急速熱分解	−	−	△
		水熱液化	−	−	△
		藻類由来のバイオ燃料製造	−	−	△
	固体燃料製造	炭化・半炭化	○	○	−
生物化学的変換	気体燃料製造	メタン発酵	○	○	○
		バイオ水素製造	△	−	△
	液体燃料製造	エタノール発酵	−	−	○
		ブタノール発酵	−	−	△

○：実際に利用されている形態　△：研究開発されている形態
※1：RDF：可燃ごみを原料として破砕，成形，乾燥された固体燃料（Refuse Derived Fuel の略）
※2：バイオソリッド：下水を固体燃料化したもの
※3：主に助燃剤として利用

4.1.2 導入ポテンシャル，導入目標，導入実績

（1）導入ポテンシャル

1）世界全体のポテンシャル

世界のバイオマスエネルギーに関するポテンシャルについて，IEA が取りまとめたデータがある（**図 4-2**）．これによると，2050 年には，技術的なバイオマスポテンシャル（賦存量）[1]は 50～1,500 EJ/年（1EJ＝10^{18}J）となり，持続可能な資源利用を前提としたバイオマスポテンシャル[2]（利用可能量）は 200～500 EJ/年としている．2008 年のバイオマスエネルギーの需要はおよそ 50EJ/年となっており，この時点で既に世界の全エネルギー需要 500EJ/年のおよそ 1 割を占めていた．

2050 年における，世界のバイオマス需要は，モデル計算や文献値を用いて算出すると 50～250EJ/年（数値は下限～上限を指す．以下同様）になるとしており，世界の全エネルギー需要を 600～1,000 EJ/年とすると，最大で約 4 割を占めることになる．また，持続可能なバイオマスポテンシャルと比較した場合には，最大で世界のエネルギー需要の 5 割をカバーできると見込まれる．

さらに，気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel Climate Change : IPCC）では，技術的なバイオマスエネルギーのポテンシャル，すなわち，これまでに実証された技術が完全に実施されることを前提としたポテンシャルを地域別に取りまとめており，これを**表 4-4** に示す．世界の合計では 171 EJ/年となっており，**図 4-2** に示す IEA による技術的なバイオマスポテンシャルの推計（50～1,500 EJ）の幅に含まれている．また，地域別には，アフリカとラテンアメリカに 6 割以上の賦存量が存在している．

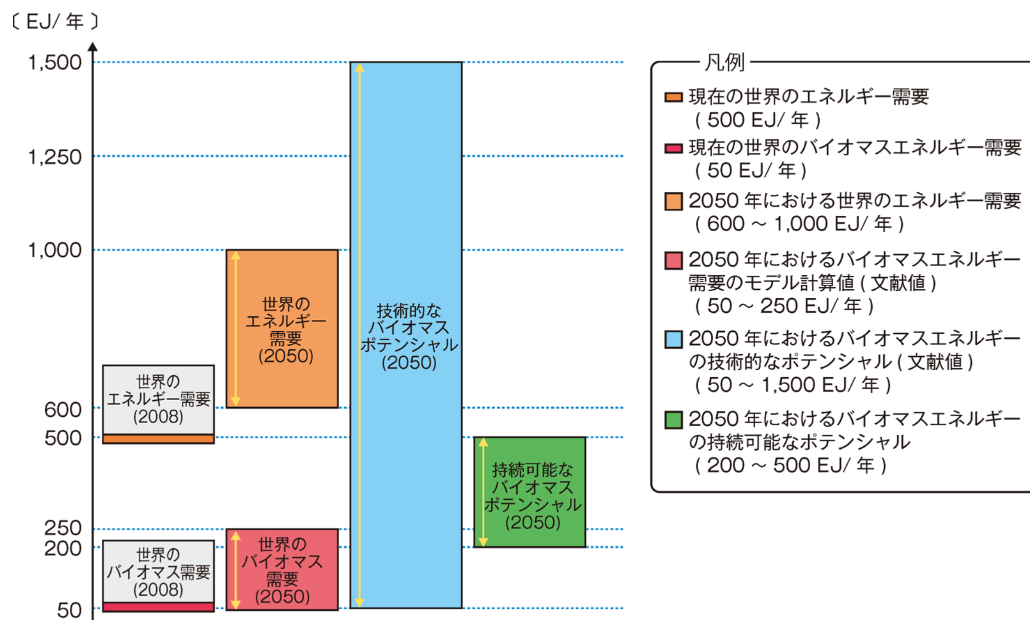


図 4-2　IEA によるバイオマスエネルギー需要量およびポテンシャルの推計

出典："BIOENERGY - A SUSTAINABLE AND RELIABLE ENERGY SOURCE"（2009，IEA）

---

1 参照文献の定義によって，廃棄物系のみを対象としたもの，未利用地などでのバイオマス生産まで含んだものが混在するため，幅をもった数字になっていると推測される．

2 技術的なポテンシャルから経済的や環境的な制約を考慮して土地利用などでの持続可能性を考慮したもの．

表 4-4　IPCC による技術的なバイオマスエネルギーポテンシャル

地域	全牧草・森林地帯面積 [Mha]	保護地域面積 [Mha]	生産に適さない，もしくは低生産性地域 [Mha]	牧草地を除いたバイオエネルギー生産面積 [Mha]	技術ポテンシャル平均※1 [GJ/(ha・年)]	技術ポテンシャル※2 [EJ/ 年]
北米	659	103	391	111	165	19
EU，ロシア	902	76	618	122	140	17
OECD 太平洋諸国	515	7	332	97	175	17
アフリカ	1,086	146	386	275	250	69
南東アジア	556	92	335	14	285	4
南アメリカ	765	54	211	160	280	45
中近東，北アフリカ	107	2	93	1	125	0.2
世界	4,605	481	2,371	780	220	171

※1：降水のある森林と牧草地の平均生産量に基づき，エネルギー密度 18GJ/乾燥重量 t で試算.
※2：飼料面積が解放されると，その部分がバイオマスエネルギー生産に回せるため，技術ポテンシャルは 171EJ/年から 288EJ/年に増加する．図 4-1-2 では，持続可能なバイオマスポテンシャルの推計の幅（200～500EJ/年）に含まれる.
出典：“Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation”（2011，IPCC）より NEDO 作成

2）日本のポテンシャル

日本のバイオマスエネルギーのポテンシャルはおよそ 510 PJ/年（1PJ＝1015J）とされる（**図 4-3**）．日本の一次エネルギー供給量 19.8EJ/年の約 3%に相当する量となっており，世界的に見るとポテンシャルは小さい．

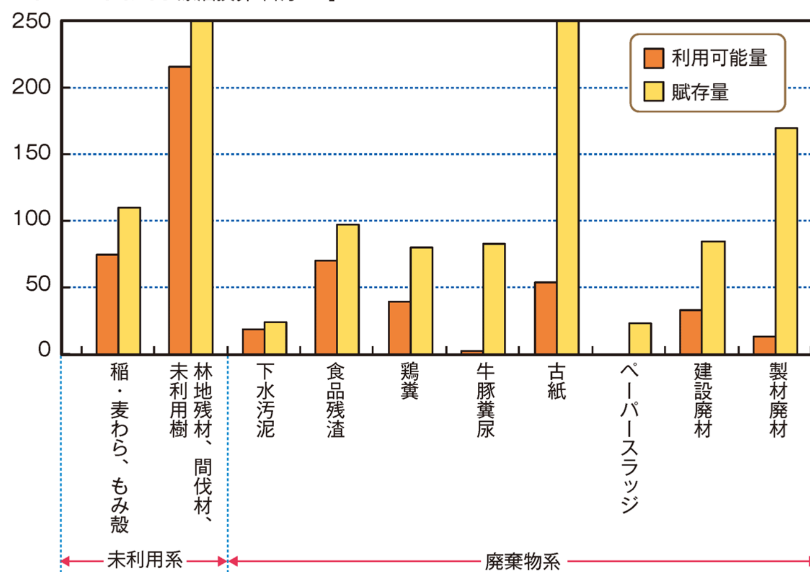


図 4-3　日本のバイオマスエネルギーのポテンシャル
出典：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第 30 回）」（2009，経済産業省）

一方，「国産バイオ燃料の大幅生産拡大」によると，廃棄物系バイオマスと未利用系バイオマスのポテンシャルのうち，未利用系バイオマスのエネルギーポテンシャルは約 530 PJ/年（原油換算 1,400 万 kL）と試算され，さらに生産系資源作物のエネルギーポテンシャルは約 240 PJ/年（原油換算 620 万 kL）と試算されている．

（2）導入目標

1）欧米等主要国

欧米など主要国にて掲げられている再生可能エネルギー導入目標と，バイオマスエネルギー導入目標を**表 4-5** に示す．バイオマスエネルギー導入目標としては掲げられていない国も一部にあるが，多くの国ではバイオ燃料を中心に導入目標が掲げられている．利用形態ごとの目標については，各節で詳述する．

日本では「長期エネルギー需給見通し（再計算）」で，2020 年と 2030 年の新エネルギー導入見通しが示されている．ここでは，2020 年度の最大導入ケースの見直しとして「廃棄物発電＋バイオマス発電」は原油換算で 408 万 kL（105PJ），「バイオマス熱利用」は 335 万 kL（86PJ），さらに 2030 年度の最大導入ケースの見通しとして，それぞれ原油換算で 494 万 kL（127PJ），423 万 kL（109PJ）が示されている．

現在, 公開されている資料の最新は「長期エネルギー需給見通し（再計算）」のとおりであるが, 2013 年現在, 総合資源エネルギー調査会の基本問題委員会でエネルギー政策の見直しが議論されている．

表 4-5 欧米等主要国における再生可能エネルギー／バイオマスエネルギーの導入目標

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	バイオマスエネルギー
日本	・「2030 年のエネルギー需給展望」（総合資源エネルギー調査会需給部会，2005）において，2010 年の新エネルギーの対一次エネルギー供給比を，3.0 %に引き上げる目標を設置．	・2020 年度の最大導入ケースの見直しとして，「廃棄物発電＋バイオマス発電」は原油換算で 408 万 kL（105 PJ），「バイオマス熱利用」は 335 万 kL（86 PJ）． ・さらに 2030 年度の最大導入ケースの見通しとして，それぞれ原油換算で 494 万 kL（127 PJ），423 万 kL（109 PJ）．
EU 全体	・2007 年に，2020 年の再生可能エネルギーの利用比率を 20%とする戦略を決定．	・2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，左記戦略目標の達成のために，2020 年までに輸送燃料の 10 %を再生可能燃料とすることを規定．
英国	・2008 年「英国再生可能エネルギー戦略」や 2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，2020 年の再生可能エネルギー比率を 15 %とする目標を設定． ・2020 年に再生可能エネルギー比率を 15 %とする場合，2020 年に電力部門における再生可能エネルギー比率は 31 %と想定．熱分野における再生可能エネルギー比率は 12 %と想定．	・2008 年から再生可能燃料導入義務（RTFO）により燃料供給業者に再生可能燃料（バイオ燃料）の販売割合を義務付け．2010～11 年は 5 %．
ドイツ	・2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，2020 年の再生可能エネルギー比率を 18 %とする目標を設定． ・2020 年までに総電力消費量における再生可能エネルギー利用比率を 35 %とするとともに，熱分野における再生可能エネルギー比率を 14 %とする目標を設定．	・2007 年の「バイオ燃料割当法」で燃料販売者にバイオ燃料の販売割合を義務付け．2015 年は 6.25 %． ・2008 年の「改正ガス供給網接続令」で 2030 年までに現在の天然ガス消費量の約 10 %程度（約 100 億 m^3）をバイオガスによってまかなう目標を設定．
スウェーデン	・2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，2020 年の再生可能エネルギー比率を 49 %とする目標を設定． ・2020 年までに発電分野での再生可能エネルギー割合を 62.9 %へ，熱分野で 62.1 %とする目標を設定．	－
デンマーク	・2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」で，2020 年の再生可能エネルギー比率を 30 %とする目標を設定． ・2020 年までに発電分野では再生可能エネルギー比率を 62 %（発電分野における風力発電の割合 50 %）	・2020 年までにバイオガス生産量を 10 PJ（国内エネルギー消費量の 1.2 %）に増加させる目標を設定．
米国	・多くの州で，電力部門における再生可能エネルギー利用義務制度（RPS）あり．オバマ大統領は，2025 年までに 25 %導入という連邦 RPS 制度を提案． ・オバマ大統領は「New Energy for America」で再生可能エネルギー由来の電力量割合を，2012 年に 12 %，2025 年に 25 %とする目標を発表．	・2007 年エネルギー自立・安全保障法では 2022 年までの再生可能燃料（バイオ燃料）の導入目標量を設定．2022 年に 360 億ガロン（約 1 億 1,400 万 kL）

	導入目標 等	
	再生可能エネルギー全体	バイオマスエネルギー
中国	・「再生可能エネルギー中長期発展計画」(2007 年 9 月),「再生可能エネルギー発展第 11 次 5ヵ年計画」(2008 年 3 月) において,エネルギー消費総量に占める再生可能エネルギー消費量の割合を,2010 年までに 10 %に,2020 年に 15 %に引き上げる目標を設定. ・第 12 次 5ヶ年計画において,2015 年までに非化石エネルギーを標準炭換算 4.8 億トン開発するという目標を設定.	・左記「中長期発展計画」において,2020 年までにバイオマス利用の発電設備容量を 30 GW に設定.
インド	・各州において,RPS 制度を実施. ・“National Action Plan for Climate Change (NAPCC)” において,再生可能エネルギー由来の電力購入義務を 2020 年に 15 %と設定.	・バイオマスコージェネレーションを 2007 ～2012 にかけて,1700 MW 追加.
タイ	・タイは「AEDP 2012-2021」において,2021 年までにエネルギー消費量に占める再生可能エネルギー (NGV 含む) の割合を 25 %とする目標を設定.	・タイにおいては,バイオマス発電の導入目標を設定 : 2,800 MW (2011 年),3,220 MW (2016 年),3,700 MW (2017 年).
マレーシア	・マレーシアでは,再生可能エネルギーの導入目標を 2030 年までに 4,000MW を計画.また,国家バイオマス戦略を策定し,パーム産業の競争力強化を図る目標を設定した.	・マレーシアでは,2020 年に固体バイオマス発電で 800 MW,2030 年までには 1340 MW の導入目標を設定.同じく国家バイオマス戦略では,2020 年までに,300 億リンギ (7,380 億円) の収入増加と 7 万人の雇用創出を見込む.

出典 :「バイオマスエネルギー導入ガイドブック」(NEDO,2010),「ユーロトレンド」(JETRO,2011),“Renewables2011 Global status Report”(2011,REN21),“Asia Biomass Office”(NEFF,2011) より NEDO 作成

(3) 導入実績

1) 欧米など主要国

欧米など主要国におけるバイオマスエネルギーの導入実績を**図 4-4**,**図 4-5** に示す.一次エネルギー供給量に占めるバイオマスエネルギーの比率は,スウェーデンを筆頭にデンマークが 2 割超と最も高く,次いでドイツと続いている.バイオマスの種類では,全体的な特徴として,英国を除き一般廃棄物が多いことが挙げられる.また,統計データが整備されている 2006 年以降の推移では,米国,ドイツなどを中心に緩やかに増加傾向にある.

2) 日本

2012 年発表の資源エネルギー庁の資料によると, 2009 年度のバイオマスエネルギー導入量は,バイオマス発電で原油換算 185.5 万 kL (48PJ),バイオマス熱利用で 170.9 万 kL (44PJ) となっている (**図 4-6**).

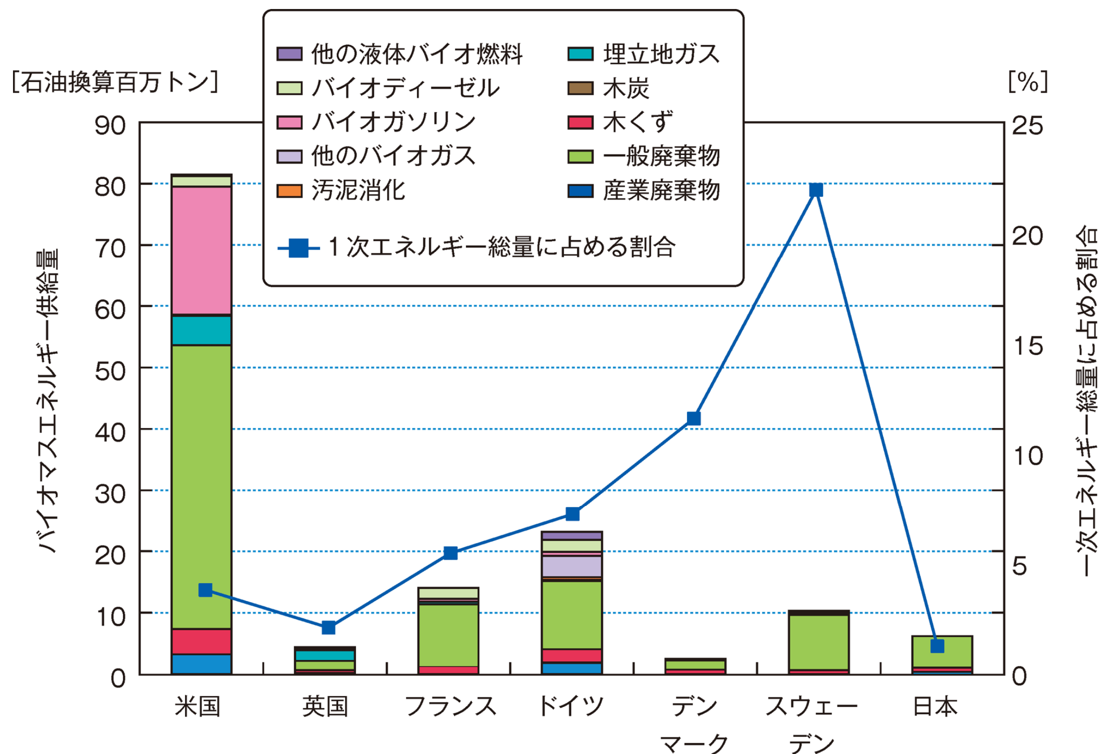


図 4-4　主要国のバイオマスエネルギー導入実績（一次エネルギーベース）

出典：“Renewables information”（2011，IEA）より NEDO 作成

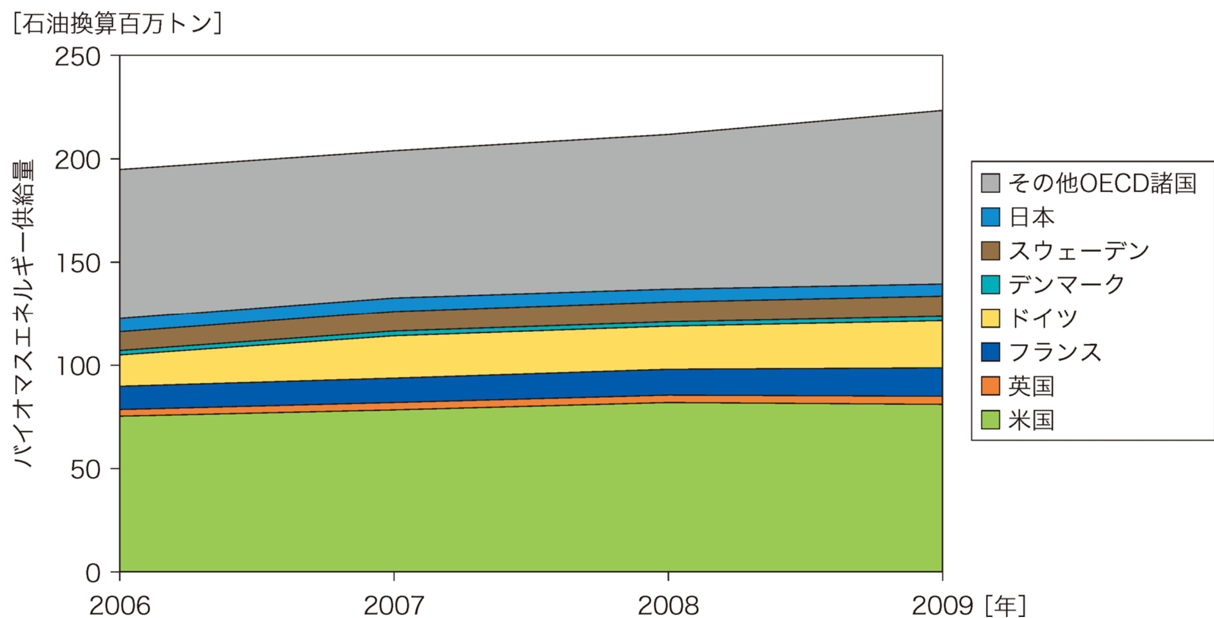


図 4-5　主要国のバイオマスエネルギー導入推移（一次エネルギーベース）

出典：“Renewables information”（2011，IEA）より NEDO 作成

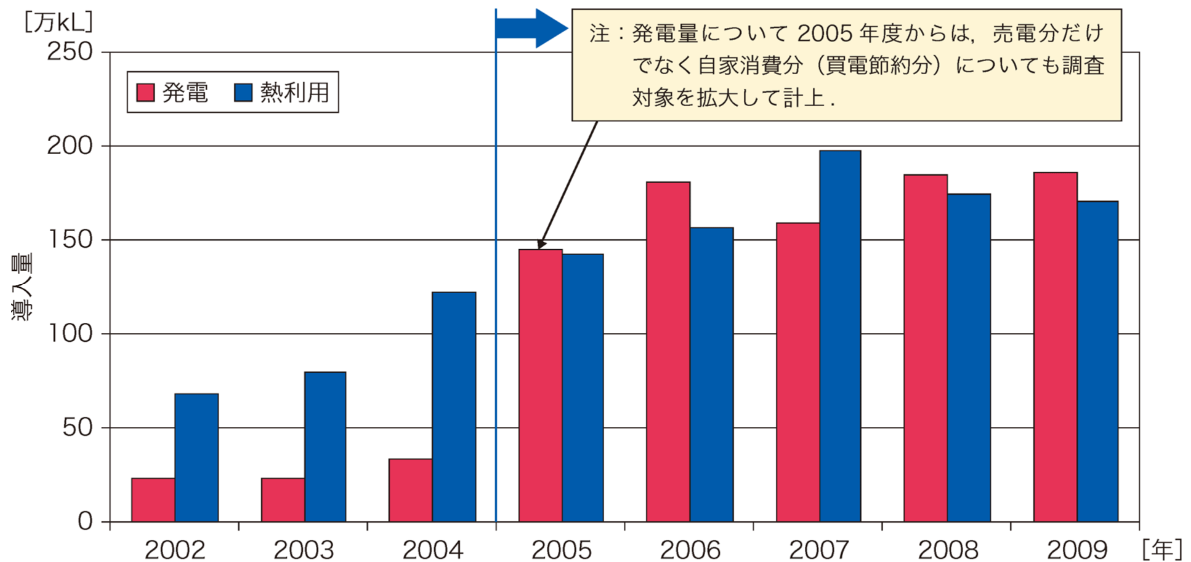


図 4-6　日本のバイオマスエネルギー導入量の推移

出典：資源エネルギー庁資料より NEDO 作成

4.2 バイオマス発電

4.2.1 技術の概要

（1）技術の俯瞰

バイオマス発電技術は，**図 4-7** に示すように，直接燃焼による発電とガス化による発電に大別できる．

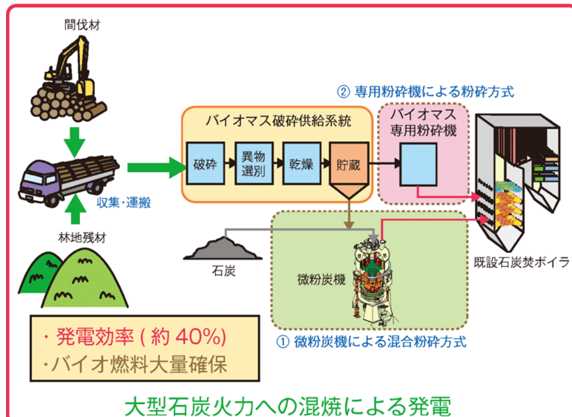
直接燃焼による発電には，既設の石炭火力発電所における混焼方式と，小規模のバイオマス専焼ボイラを用いた方式があり，いずれもボイラで発生した蒸気でタービンを回して発電する．

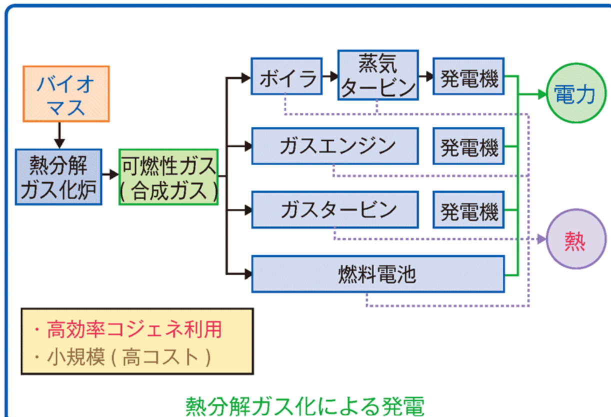
ガス化による発電には，バイオマスを熱分解するガス化炉で可燃性ガス（合成ガス）を発生させ，ボイラで燃焼させて蒸気タービンにより発電したり，ガスエンジンやガスタービンなどで発電する方式と，バイオマスや廃棄物などの発酵によってメタンガスを作り，ガスエンジンなどで発電する方式がある．以下に詳細を解説する．

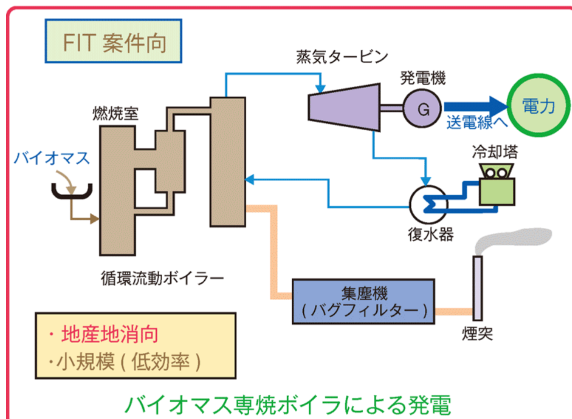
1）直接燃焼による発電

直接燃焼による発電は，バイオマスを直接燃焼し，熱に変換して発電する技術で，その流れは**図 4-8** のようになる．原料となるバイオマスをボイラで燃焼し，得られる水蒸気を蒸気タービンに送り，電力を得る．直接燃焼による発電にはバイオマスと石炭を同時に燃焼させるバイオマス混焼方式と，バイオマスを専用のボイラで燃焼させるバイオマス専焼方式があり，以下に詳細を解説する．

<① 直接燃焼による発電>　　<② ガス化による発電>







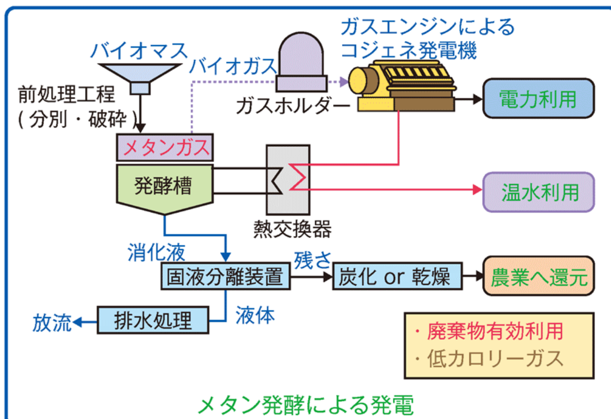


図 4-7　バイオマス発電の種類

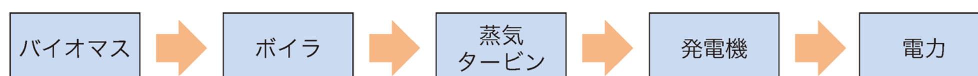


図 4-8　バイオマス直接燃焼による発電

【バイオマス混焼方式】

既設の石炭火力火力発電所での木質バイオマス混焼の例を**図 4-9** に示す．

ボイラで混焼するのに先立って，木質バイオマスを粉砕する必要があるが，その方法には以下の 2 種類がある．

・混合粉砕方式

石炭火力発電では，まず石炭を微粉炭機に入れて微粉炭化した後にボイラに投入する．混合粉砕方式では，石炭と木質バイオマスを微粉炭機に一緒に入れて，混合粉砕し，ボイラで燃焼する方式である．改造範囲が少なく，蒸気タービンや発電機などの設備も既設をそのまま利用できるメリットがある．一方，木質バイオマスの粉砕性に課題があり，混焼率は一般に 1～3%程度である（国内の実証事業では 5～10%という例もある）が，一般に発電効率の高い大型の火力発電設備であることから，大量のバイオマスを燃焼することができる．

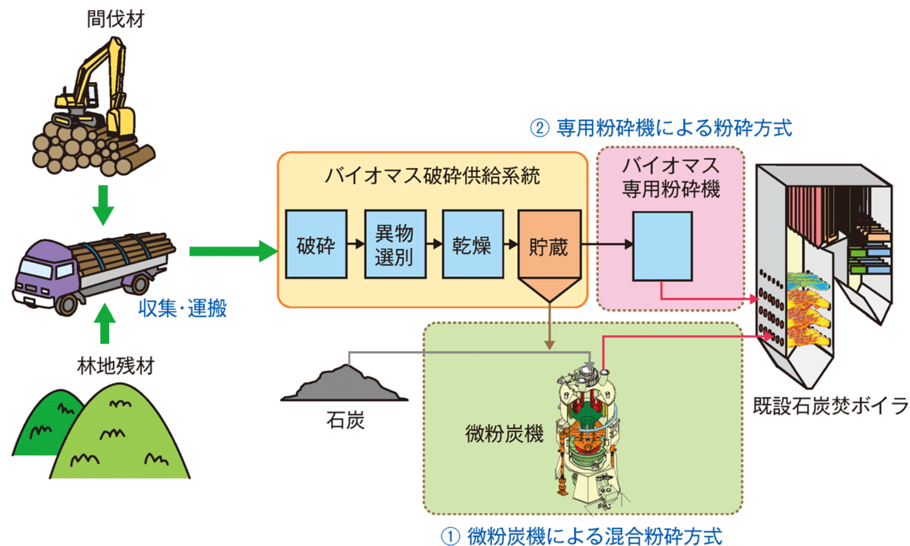


図 4-9　既設石炭火力での木質バイオマス混焼システム概略系統図

・専用粉砕方式

専用粉砕方式では，木質バイオマスの粉砕に既設の微粉炭機を使うのではなく，バイオマス専用の粉砕設備を追設する．混合粉砕方式のような粉砕性の問題がないため，混焼率を高くすることが可能である．ただし，既設の火力発電設備への追設スペースがボイラ近傍に確保できることが前提となる．また，混合粉砕方式と比較して改造工事が多く，コスト面の課題もある．

国内電力会社の主要地点の木質バイオマス混焼状況および計画は**図 4-10** に示すとおり，すべての電力会社が実施中または計画中である．

なお，NEDO は既設の微粉炭焚きボイラでの混焼率 25%を目指した「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（実用化技術開発）／既設微粉炭焚きボイラでの混焼技術の実用化開発」を実施している．

【バイオマス専焼方式】

循環流動層を用いたバイオマス専焼方式のバイオマス発電のイメージを**図 4-11** に示す．原料となるバイオマスを循環流動層ボイラに投入し，得られた水蒸気で蒸気タービンを回して発電する．その後，水蒸気を冷却させて水に戻し，ボイラに再送する．ボイラ内で発生した灰は，集塵機によって取り除く．

なお，熱効率は混焼と比較すると，専焼は低くなる．一般に，直接燃焼のエネルギー効率を高めるためには，バイオマスを乾燥させ，含水率を低減させることが重要である．特に下水汚泥など高含水率のバイオマスでは，燃焼で得られるエネルギーよりも大きな乾燥用エネルギーが必要となるため，直接燃焼には工夫を要する．

原料となる木質系バイオマスを大量に入手することが困難なことや，海外産の木質系バイオマスを使用する場合に安定的な調達が困難なことなどは，混焼でも木質系バイオマス専焼の場合と同様，課題となっている．

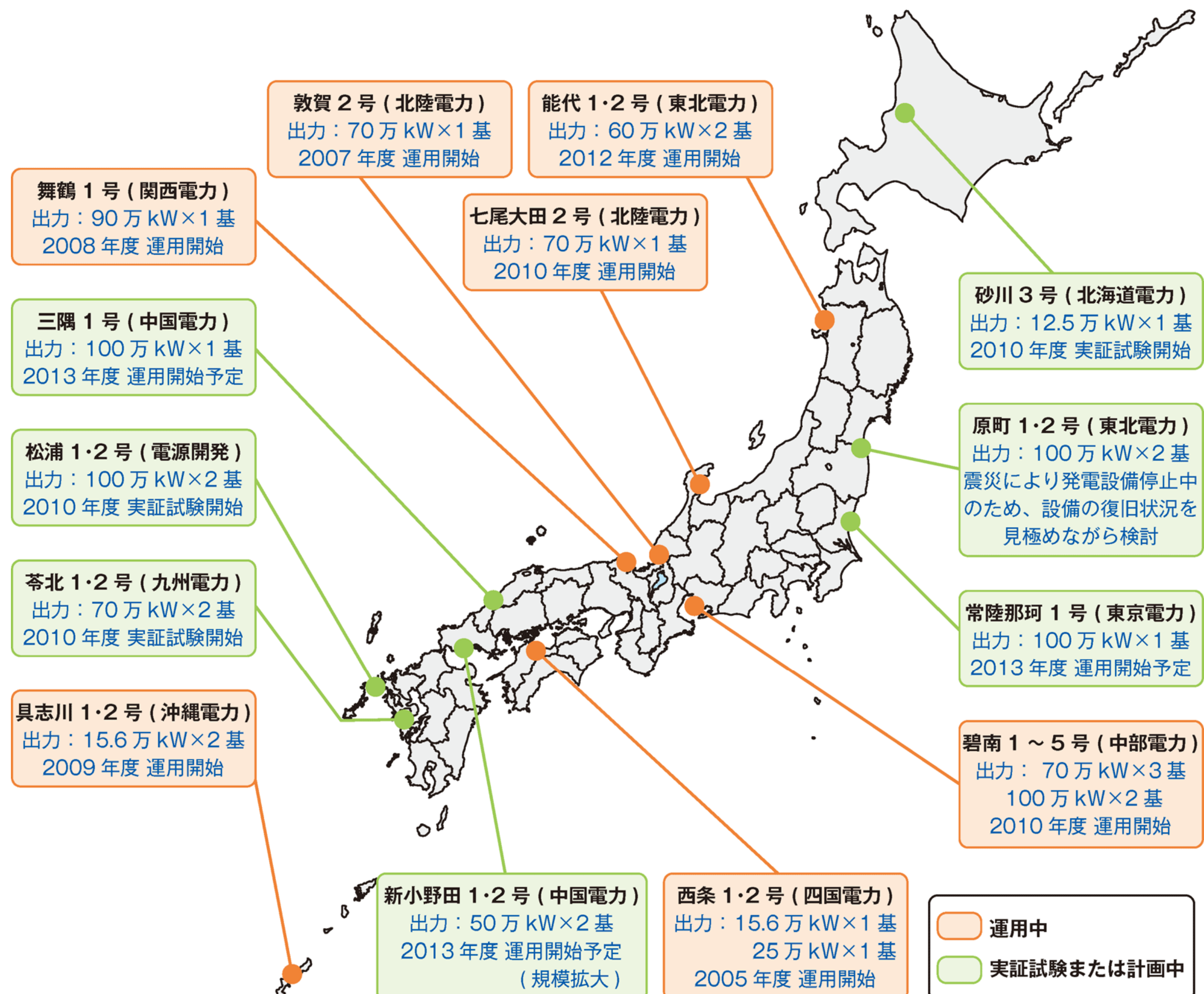


図 4-10　国内電力会社の木質バイオマス混焼状況・計画（主要地点）

出典：電気事業連合会ホームページ/電気事業のデータベース（INFOBASE），
http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2012.pdf より NEDO 作成

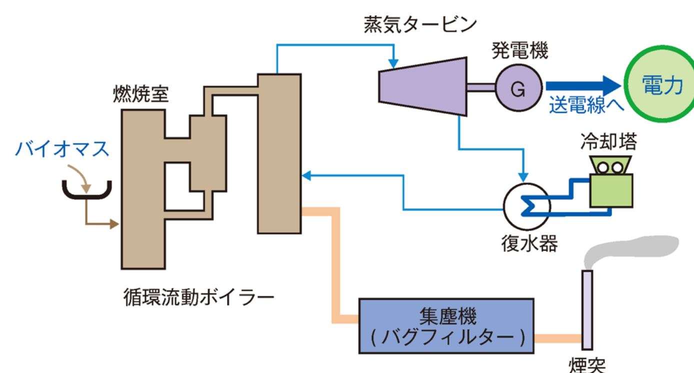


図 4-11　バイオマス専焼ボイラによる発電（循環流動層の例）

2）ガス化による発電

【熱分解ガス化による発電】

熱分解ガス化による発電では，原料となる木質系バイオマスなどを前処理した後，ガス化炉に投入してガス化し，得られたガスを用いて発電する（**図 4-12**）．

熱分解ガス化は，空気（酸素）や蒸気などのガス化剤を利用して高温下で行う．条件によって異なるが，おおむね H_2，CO，CO_2，CH_4 などが中心である．ガス化の原料となるバイオマスには，木質系バイオマス，草本系バイオマスのほか，紙ごみなど乾燥したバイオマスが適している．

発電は，発生したガスのうち，H_2，CO，CH_4 などの可燃性ガスを用いて，蒸気タービン，ガスエンジン，ガスタービン，燃料電池により行う．発電と同時に熱も発生することから，熱利用を併せて行う事例も多い．

表 4-6 にガス化炉の形式を示す．固定床は，構造が比較的単純なため，小規模システムでも低コストを実現しやすい点が長所である．その一方で，反応時間が相対的に長いことと炉内温度が 600℃以下と低いため，タールが発生しやすい点が課題となっている．

流動層は，流動媒体に砂やアルミナを用いることで，流動媒体が有する保有熱と均一した混合状態となり，安定したガス化の促進が可能である．

噴流床は，投入するバイオマスの含水率や性状（1mm 以下の微粉状）に制約があるものの，炉内温度が高いため，タールの問題が発生しにくい．

一般に，ダウンドラフト式固定床および外熱式ロータリーキルンは小規模向け，アップドラフト式固定床およびバブリング式流動層は中規模向け，循環式流動層および噴流床は大規模向けとされている．

ここで，参考までに各発電方式の発電出力と発電効率の関係を**図 4-13** に示す．熱分解ガス化による発電においては，多様な発電方式が選択肢となるが，我が国においては，バイオマス資源量の制約から比較的小規模な設備が多いため，ガスエンジンがよく用いられている．ガスエンジンは，4～25kW の範囲で発電効率が 20～31%程度である．

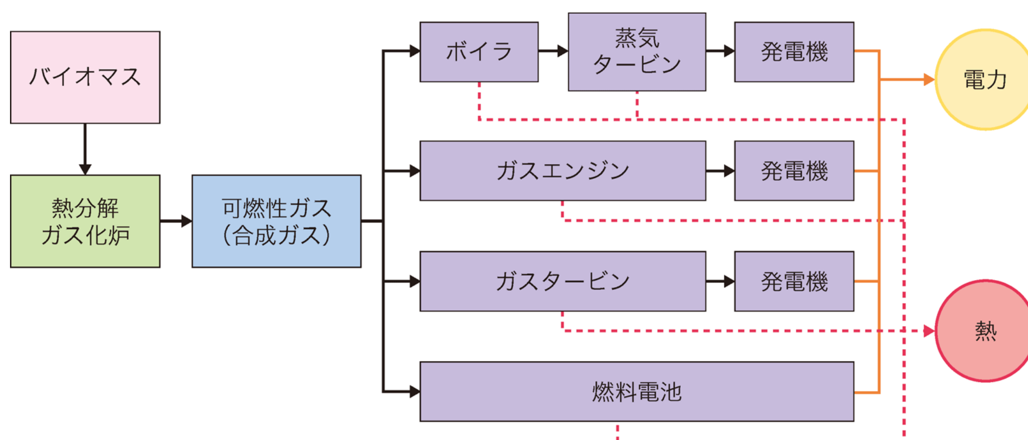


図 4-12　バイオマスのガス化発電システム

表 4-6　ガス化炉の型式

ガス化方式および炉型式	固定床		流動層	
	ダウンドラフト式	アップドラフト式	バブリング式	循環式
ガス化炉概略図 F：木質系バイオマス O：酸化剤（空気，酸素，蒸気） P：発生ガス				
ガス化温度	700 ～ 1,200 ℃	700 ～ 900 ℃	800 ～ 1,000 ℃	800 ～ 1,000 ℃
ガス出口温度	600 ～ 800 ℃	100 ～ 300 ℃	500 ～ 700 ℃	700 ～ 900 ℃
タール含有量	低い (<0.5g/m3N)	非常に高い (30 ～ 150g/m3N)	中 (<5g/m3N)	中 (<5g/m3N)
ガス化方式および炉型式	噴流床	ロータリーキルン		
		内熱式	外熱式	
ガス化炉概略図 F：木質系バイオマス O：酸化剤（空気，酸素，蒸気） P：発生ガス				
ガス化温度	1,000 ～ 1,500 ℃	850 ～ 1,000 ℃	700 ～ 850 ℃	
ガス出口温度	1,000 ～ 1,200 ℃	800 ～ 950 ℃	650 ～ 800 ℃	
タール含有量	非常に低い (<0.1g/m3N)	中 (<5g/m3N)	中 (<3g/m3N)	

【メタン発酵による発電】

メタン発酵による発電は，微生物による嫌気性発酵によって有機物を分解し，その過程で発生する CH_4 などを，ボイラ設備，発電設備に供給して発電する技術である．

図 4-14 に示すように，原料となるバイオマスを受け入れた後，前処理設備で不純物を取り除き，メタン発酵槽に投入することによって，メタンを主成分とするバイオガスが発生する．発生したバイオガスは，ガスホルダに蓄えられた後，ガスエンジンによるコージェネレーション発電が行われ，熱交換器を通して温水利用（熱利用）に供される．

メタン発酵の方式は，液状またはスラリー状（液体中に汚泥などの固形物が懸濁して混ざっている状態）の原料を利用する湿式と，水分 80%程度の固形状態の原料を利用する乾式に区分される．メタン発酵では，アンモニア濃度が高くなると発酵が阻害されるが，湿式では水分調整によってアンモニア濃度を調整できるメリットがある．一方，乾式には処理廃水が少ないというメリットがある．

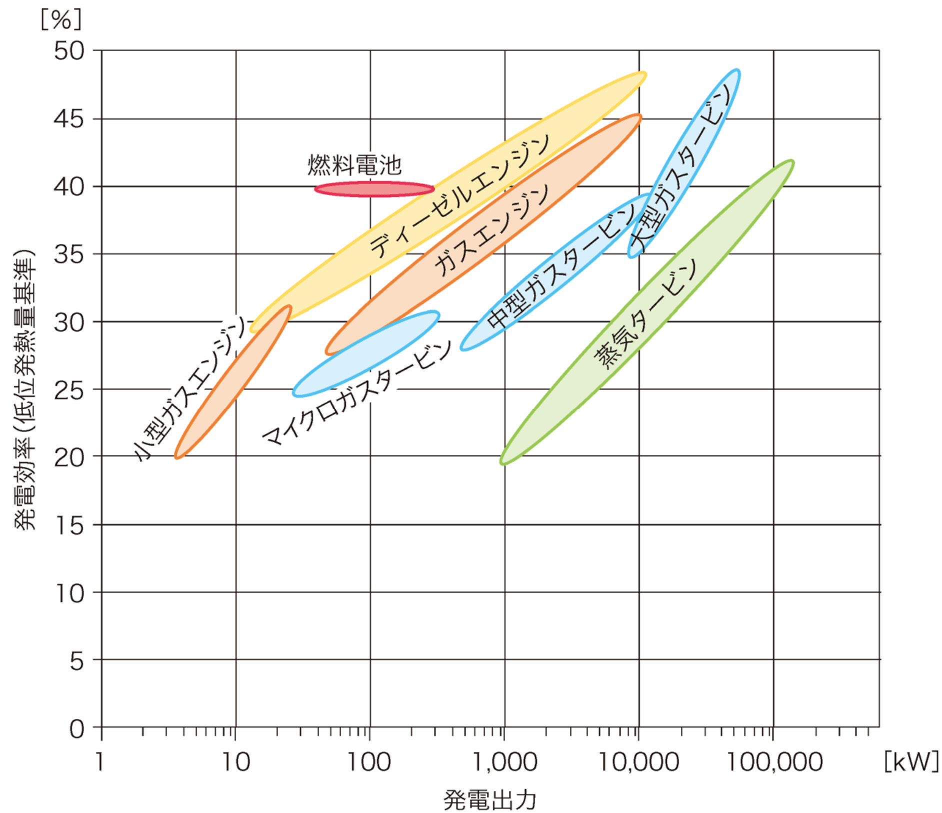


図 4-13　ガスエンジン，ガスタービン，ディーゼルエンジン，蒸気タービンの発電効率

出典：「天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008」，（2008,日本エネルギー学会）より NEDO 作成

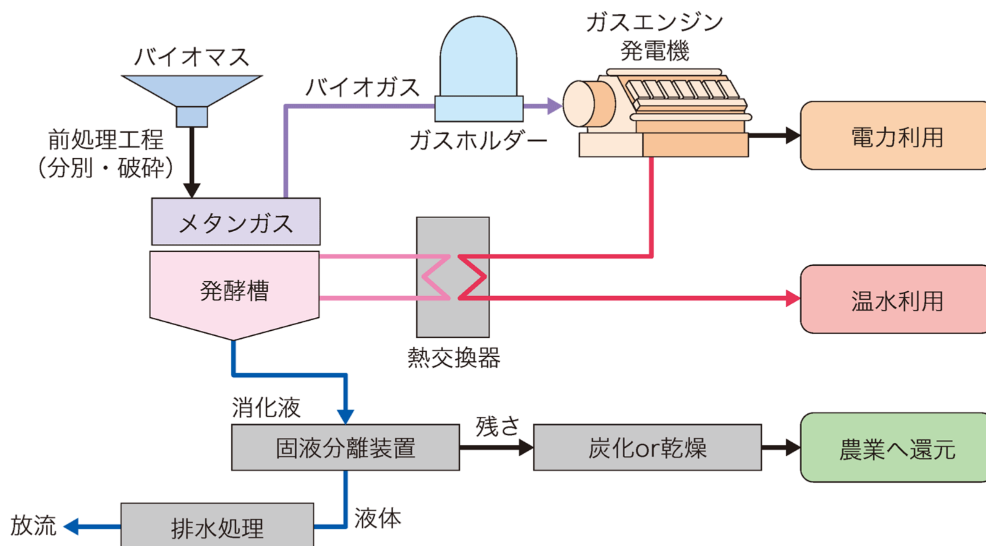


図 4-14　メタン発酵のよるコージェネレーション発電システム

プロセスの最適温度としては，中温発酵（約 35℃）と高温発酵（約 55℃）があり，発酵の主体となるメタン菌の種類も異なる．高温発酵では，発酵速度が速いため，滞留時間が短くて済み，発酵槽の容量を小さくできるメリットがある．

プロセスで発生するのは，バイオガスのほかに，消化液，発酵残渣がある．消化液や発酵残渣は，日本では排水処理または焼却処理される事例が多い．このような処理には高いコストとエネルギーが必要で，特に小型のシステムでは規模の割に処理費用が高くなってしまうため，コンポストや液肥として農地に還元し，再資源化する取り組みがなされている．

メタン発酵の原料には，主に食品系バイオマス，家畜ふん尿，下水汚泥が利用されている．一般にそれらの成分は変動を伴うため，発生ガス量とメタン濃度もある程度変動する．また，成分によっては，微生物のメタン菌の活性が低下し，メタンガスの発生が停止する場合もある．特に，たんぱく質の多い廃棄物は，アンモニア阻害が起こりやすい．なお，バイオガスのメタン濃度は通常 50～60%程度である．最近の傾向としては，メタンガスの収量を増やすために，数種類の原料を組み合わせるケースが増えつつある．

バイオガスの利用として，かつては発酵槽の加温用途が多く，余剰分は燃焼廃棄されていた．現在では，バイオガス用のガスエンジンなど発電利用が増え，オンサイトで電気と熱の両方を取り出し，有効利用するコージェネレーション・システムのケースが増えている．さらに，都市ガスの性状とほぼ同様に精製して，ガスとしての販売や，圧縮天然ガス自動車（Compressed Natural Gas 自動車：CNG 自動車）への利用といった取り組みも行われている．

メタン発酵によって得られたバイオガスを用いて発電を行う場合，脱硫プロセスを経て硫黄成分を取り除き，ガスエンジンなどの機器の腐食や劣化の防止に配慮する必要がある．さらに，発電の出力を高めるために，バイオガス中のメタン濃度を高めるなどの工夫が必要になることがある．

（2）バイオマス発電コスト

1）海外

i）建設単価および発電単価

IEA によれば，商用プラントの建設単価，発電単価を**表 4-7** のように整理している．

表 4-7　バイオマス発電のコスト

対象	プラントサイズ	建設単価	発電単価
木質専焼	0.1～100 MW	2,600～4,100 ドル /kW (208,000～328,000 円 /kW)	0.069～0.150 ドル /kWh (5.5～12.0 円 /kWh)
混焼	20～100 MW	430～900 ドル /kW (34,400～72,000 円 /kW)	0.022～0.067 ドル /kWh (1.8～5.4 円 /kWh)

出典：“Deploying Renewables 2011”（2011, IEA）より NEDO 作成
※：1US ドル＝80 円換算

蒸気タービンによるバイオマス発電について，初期費用が 2010 年に 2,500 ドル/kW 要したものに対して，2050 年には 1,950 ドル/kW まで低減するとともに，運用維持管理コストで 2010 年に 111 ドル/kWh 要していたものが，2050 年には 90 ドル/kWh まで低減するとされている．

さらに REN21（Renewable policy Network for the 21st Century：REN21）によれば，バイ

オマス発電の発電単価は，プラントのサイズが 1～20MW の規模であれば，5～12 セント/kWh になるとされている．

ii）参考：固定価格買取制度の調達価格

ドイツのバイオマスの廃棄物発酵，小規模ふん尿，固体バイオマス燃料による発電を除くバイオマス発電の調達価格は，**表 4-8** のとおりである．買い取り期間は，太陽光発電，風力発電など他の電源と共通して 20 年と定められており，バイオマス発電については，さらに 4～8 ユーロセント/kWh の買取価格の上乗せがされる．

表 4-8　ドイツにおけるバイオマス発電の調達価格（2012 年）

出力区分	調達価格（ユーロセント /kWh）	買取期間
＜150 kW	14.3	20 年
150～500 kW	12.3	
500～5,000 kW	11	
5,000～20,000 kW	6	

出典：資源エネルギー庁資料より NEDO 作成

スペインでは，バイオマスの燃料の種類，設備容量ごとに買い取り価格が定められている．

表 4-9　スペインのバイオマス発電の調達価格（2012 年）

燃料種類	出力区分	調達価格［ユーロセント /kWh］	
		最初 15 年間	16 年目以降
エネルギー作物	＜2,000 kW	17.63	13.09
	＞2,000 kW	16.27	13.70
農業廃棄物起源	＜2,000 kW	13.95	9.41
	＞2,000 kW	11.94	8.95
林業廃棄物起源	＜2,000 kW	13.95	9.41
	＞2,000 kW	13.13	8.95
埋立ガス	–	8.87	7.22
その他バイオマス	＜500 kW	14.50	7.22
	＞500 kW	10.74	7.22
バイオ燃料	–	5.95	5.95
農業加工廃棄物	＜2,000 kW	13.95	9.41
	＞2,000 kW	11.94	8.95
林業加工廃棄物	＜2,000 kW	10.30	7.22
	＞2,000 kW	7.22	7.22
黒液	＜2,000 kW	10.02	7.03
	＞2,000 kW	8.64	7.03

出典：資源エネルギー庁資料より NEDO 作成

2）日本

i）発電単価

バイオマス発電については，未利用間伐材を原料とした木質系バイオマス発電を対象に，コスト等検証委員会で試算されている．木質系バイオマス専焼の発電単価は最大で 32.2 円/kWh，石炭火力発電所で未利用間伐材をチップとして混焼する場合の発電単価は 9.5～9.8 円/kWh とされている．未利用間伐材を燃料として使用する場合，収集および運搬に要する距離や運搬用の作業道（道路網）の整備状況などの諸条件によって，価格が大きく変わることに留意が必要としている．

ii）固定価格買取制度での調達価格

固定価格買取制度の開始によって，2012 年度のバイオマス発電の調達価格，調達期間は**表 4-10** のとおりとなる．未利用木材燃焼発電の調達価格 33.6 円/kWh に対して，**図 4-15** に示した木質専焼発電のコストは 32.2 円/kWh であり，コストを吸収できる調達価格が設定されている．

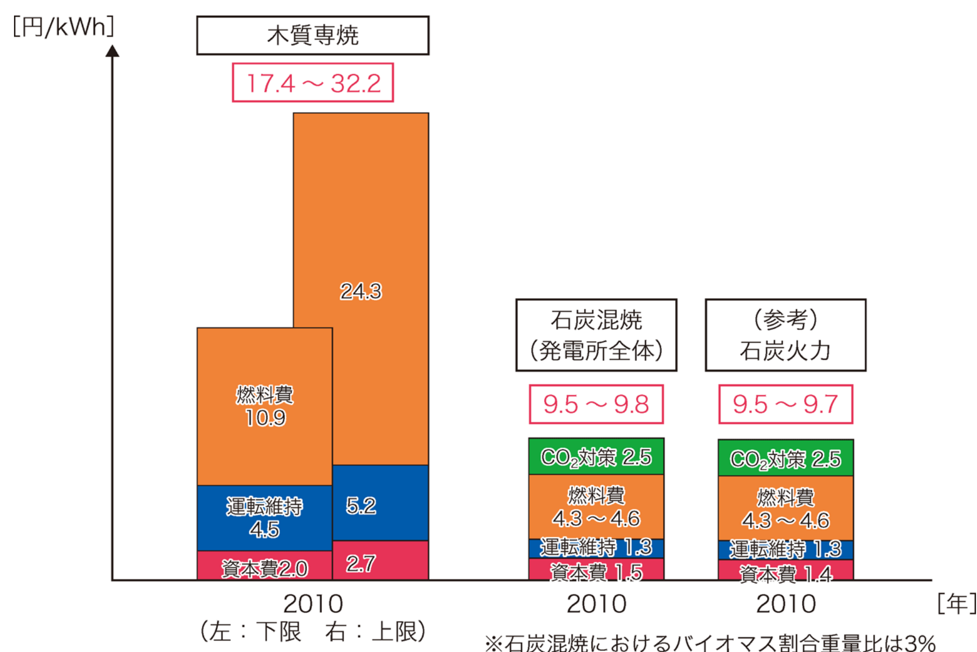


図 4-15　バイオマス発電に要するコスト

出典：「コスト等検証委員会報告書」（2011/12，エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会）

表 4-10　固定価格買取制度でのバイオマス発電の調達価格，調達期間

バイオマス	メタン発酵ガス化発電	未利用木材燃焼発電(※1)	一般木材等燃焼発電(※2)	廃棄物（木質以外）発電(※3)	リサイクル木材燃焼発電(※4)
調達価格	40.95 円 /kWh	33.6 円 /kWh	25.2 円 /kWh	17.85 円 /kWh	13.65 円 /kWh
調達期間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間	20 年間

※1：間伐材や主伐材であって，後述する設備認定において未利用であることが確認できたものに由来するバイオマスを燃焼させる発電
※2：未利用木材およびリサイクル木材以外の木材（製材端材や輸入木材）並びにパーム椰子殻，稲わら・もみ殻に由来するバイオマスを燃焼させる発電
※3：一般廃棄物，下水汚泥，食品廃棄物，RDF，RPF（リサイクルが困難な古紙およびプラスチックを原料とした固体燃料），黒液等の廃棄物由来のバイオマスを燃焼させる発電
※4：建設廃材に由来するバイオマスを燃焼させる発電
出典：資源エネルギー庁資料より NEDO 作成

4.2.2 導入目標，導入実績

（1）導入目標

1）世界

バイオマスエネルギー導入の政府目標については，4.1 節で，欧米諸国などバイオマス主要国の導入目標を示したところである．ここでは，4.1 節で示した以外の国について，直接専焼やメタン発酵に関する導入目標量と期限を示す．

発電を主体に定めている国としては，タイ，フィリピン，インドネシアなどが挙げられる．簡易型メタン発酵槽を導入して，発電だけに限らず熱利用も視野に入れた目標を立てている国もある（**表 4-11**）．

表 4-11　バイオマス主要国以外の国でのバイオマスエネルギーの導入目標

国名	導入目標量	期限
アルゼンチン	バイオガス 20 MW	2012 年
インドネシア	バイオマス発電 810 MW	2025 年
リトアニア	セントラルヒーティングの 70 %をバイオマスで達成	2020 年
メキシコ	バイオガス，バイオマス由来を 0.85 %にする．	2012 年
モザンビーク	1,000 基簡易型メタン発酵槽を導入する．	–
ネパール	簡易型メタン発酵槽　：9,000 基 コミュニティプラント：　50 基 団体運営のプラント　：　75 基	2012 年，2013 年
ノルウェー	14TWh	2020 年
フィリピン	バイオマス発電：76 MW	2010 年
	94 MW	2015 年
	267 MW	2030 年
ポルトガル	バイオマス：952 MW	2020 年
ウガンダ	簡易型メタン発酵槽 100,000 基	2017 年

注：国の並びはアルファベット順
出典：“Renewables2011 Global status Report”（2011, REN21）より NEDO 作成

（2）導入実績

1）世界

バイオマスエネルギーによって供給された電力は，2000 年から 2009 年にかけて増加傾向にあり，世界の発電量の 1.24%に相当する 248TWh となった．特にドイツ，中国で増加傾向が見られる．一方，米国，ブラジル，日本の実績量は 2005 年以降，横ばいである（**図 4-16**）．

また，経済協力開発機構（Organization for Economic Cooperation and Development：OECD）加盟国でのバイオマス発電の推移を見ると，総じて増加傾向にあるが，一般廃棄物（再生可能資源由来）を対象とした発電は 2007 年以降，横ばいになりつつある（**表 4-12**）．

2）欧州

i）固体バイオマス燃料の直接燃焼

EU の固体バイオマス燃料の直接燃焼による発電量は，2009 年でコージェネレーションを含めて全体で 62TWh となった．特にドイツ，スウェーデン，フィンランドの発電量が多い．また，スウェーデン，ポーランド，デンマーク，スロバキアなどでは，コージェネレーションが大部分を占めている．北欧でのコージェネレーションの取り組みが進んだ理由としては，1980 年代から推進施策が導入されたこと，日本と比べて熱需要が大きいこと，また木質系バイオマスの調達が容易であることなどの背景がある（**図 4-17**）．

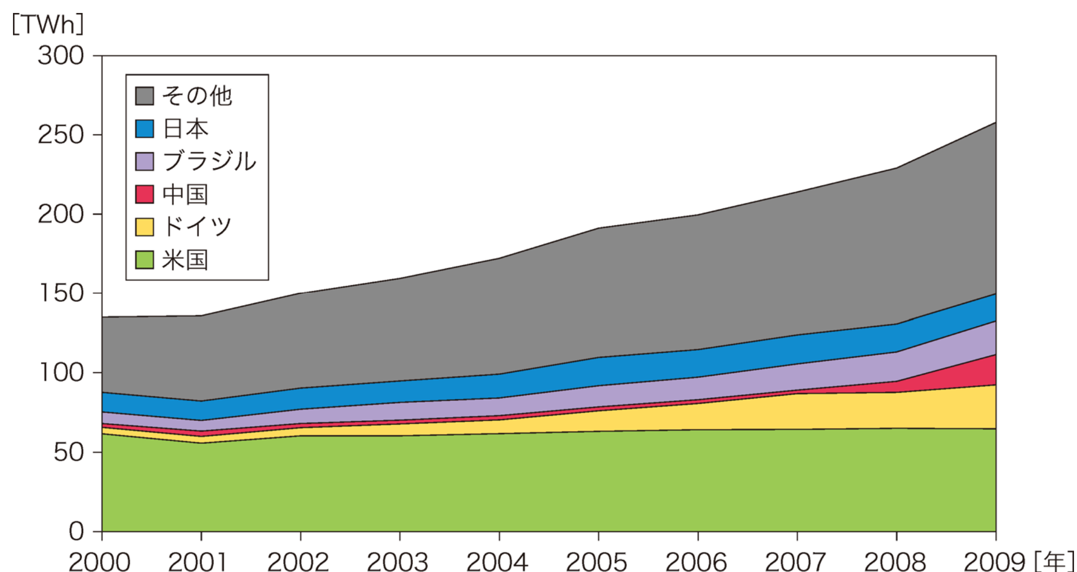


図 4-16　主要国でのバイオマス発電量の実績量の推移（2000〜2009 年）

出典：“Deploying Renewables 2011” P-41（2011，IEA）

表 4-12　OECD 全体のバイオマス発電の実績量の推移　　（単位 GWh）

対象＼年	1990	1995	2000	2007	2008	2009
一般廃棄物（再生可能資源由来）	9,134	13,170	18,802	28,883	29,288	29,236
固体バイオマス燃料	94,298	77,463	84,865	122,317	126,358	131,199
バイオガス	3,652	6,165	13,125	28,904	31,150	37,627
液体バイオ燃料	−	−	−	3,267	3,443	4,811

出典：“Renewables Information 2011”（2011，IEA）より NEDO 作成

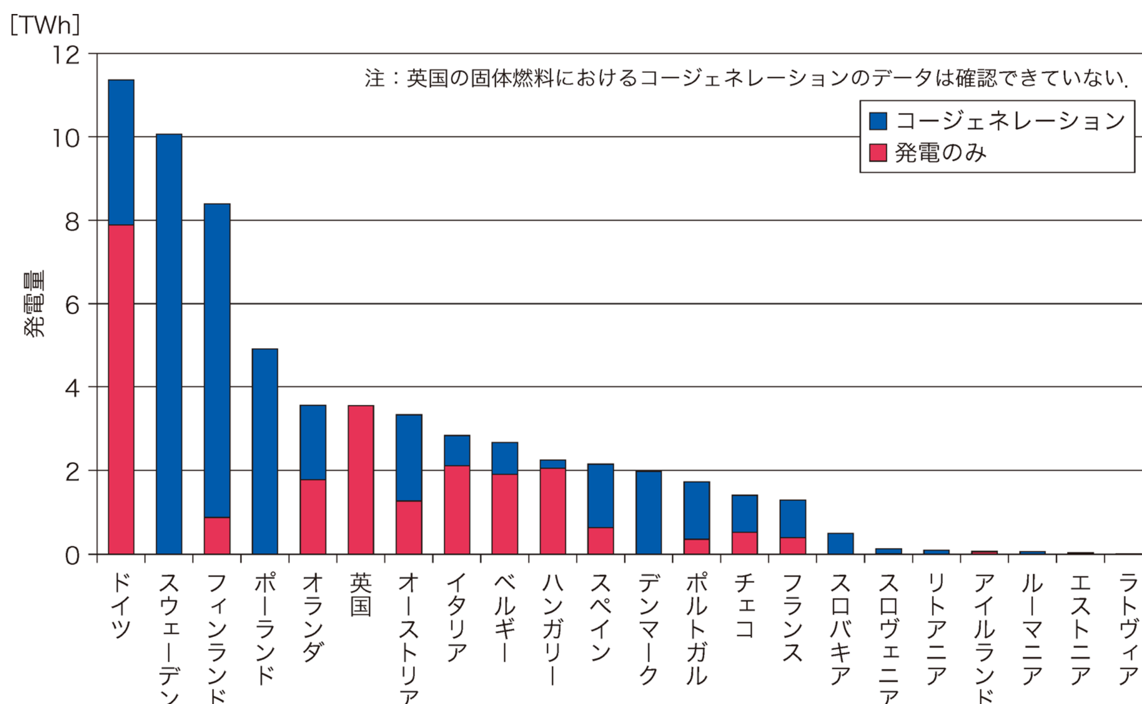


図 4-17　EU の固体バイオマス燃料による発電量（2009 年）

出典：“Solid Biomass Barometer”（2010，EurObserv'ER）より NEDO 作成

ii）バイオガス

EU 全体のバイオガスによる発電量は，2009 年には 25TWh（コージェネレーションを含む）となった．特にドイツ，英国，イタリアでの発電量が多い．発電のうちコージェネレーションが大部分を占める国は，デンマーク，ポーランド，ハンガリー，スロヴェニアなどである．発電のみのプラントによる発電が大部分を占める国として，ドイツ，英国，イタリア，フランス，スペイン，オーストリアなどが挙げられる（**図 4-18**）．

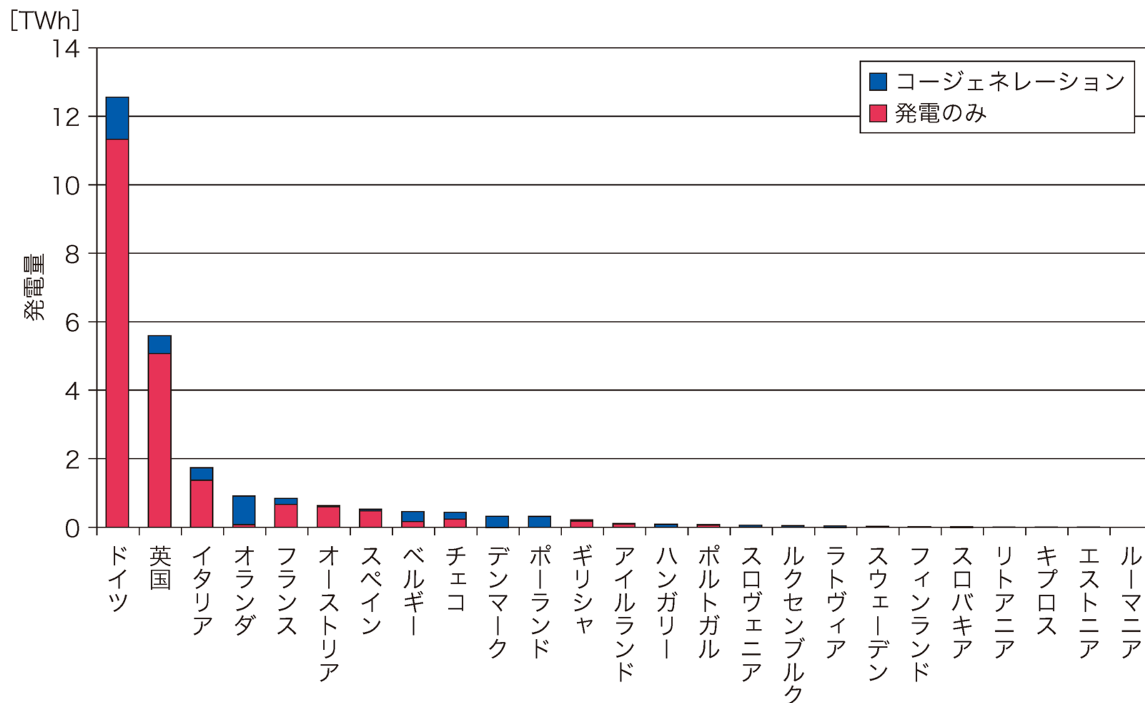


図 4-18　EU のバイオガス発電量（2009 年）

出典：“Biogas Barometer”（2010，EurObserv’ER）より NEDO 作成

iii）総発電量に占めるバイオマス発電の割合

固体バイオマス燃料による発電量とバイオガスによる発電量の和に対する，EU 各国の総発電量に対するバオマスの比率（折れ線）を**図 4-19** に示す．フィンランド，オーストリア，ハンガリー，デンマークで，総発電量に占める固形バイオマス燃料による発電の割合が高い．

3）日本

バイオマス発電の導入量は原油換算で 185.5 万 kL（48PJ）であり，その内訳を**図 4-20** に示す．

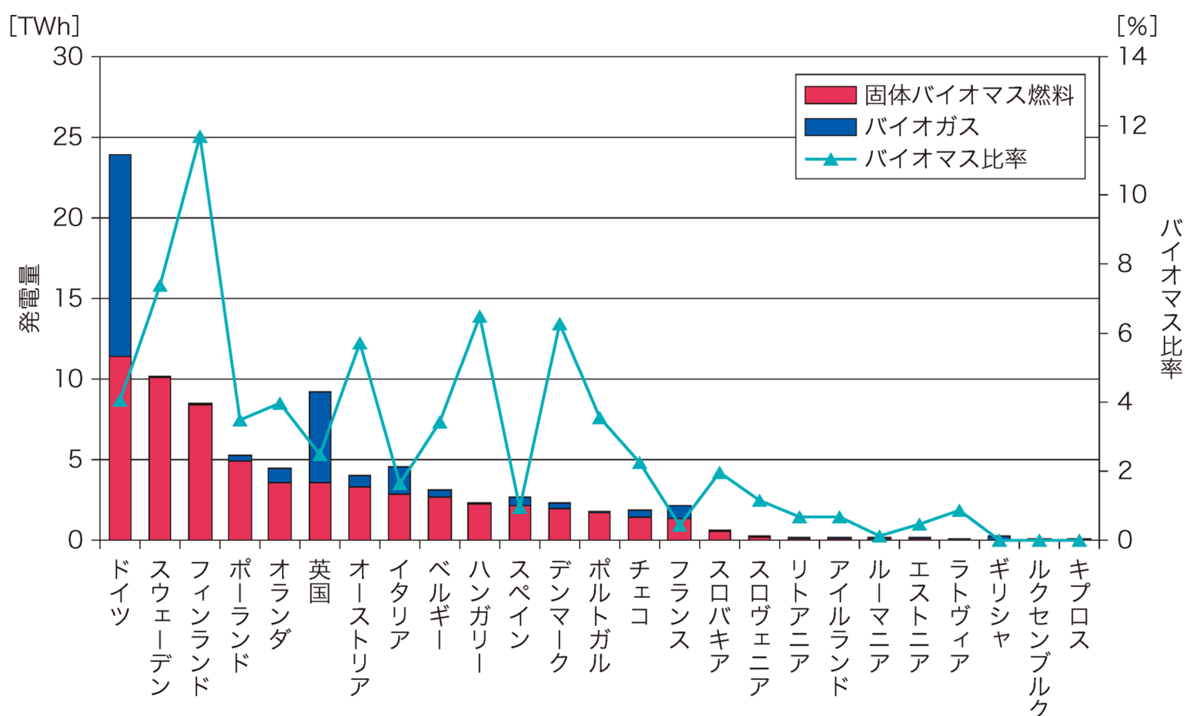


図 4-19 総発電量に占めるバイオマス発電の割合

出典 : “Solid biomass barometer”（2010, EurObserv’ER）, “Biogas barometer”（2010, EurObserv’ER）, “Electricity Information”（2011, IEA）より NEDO 作成

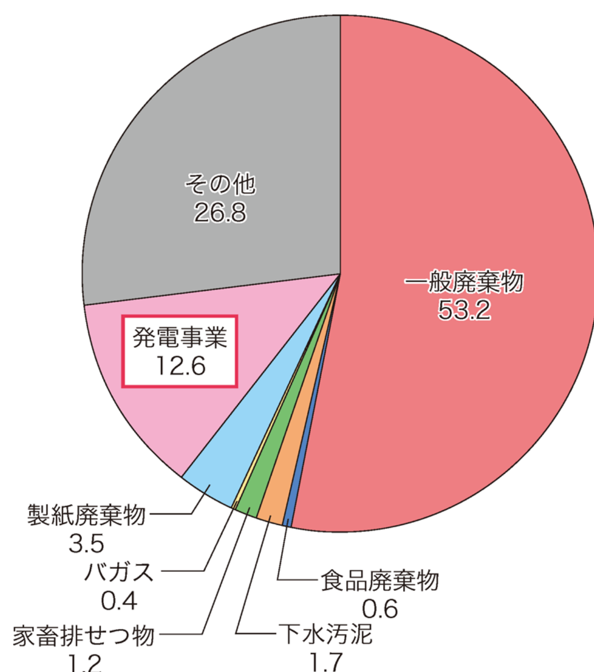


図 4-20 バイオマス発電の利用実態（発電量の内訳）

注 : ここでは, 一般廃棄物中のバイオマス分のみをバイオマスエネルギーとして計上している.
発電事業については, 売電を目的とした事業者のことを意味している.

出典 : 資源エネルギー庁資料（2012）より NEDO 作成

4.2.3 世界の市場動向

（1）市場の現状および将来見通し

バイオマス発電の導入の過去の実績と将来見通しについて，IEA の報告書によれば，2035 年には 244GW に発電容量が増加するものと予測している．なお，この予測は，New policies Scenario と呼ばれ，既往の政策や計画された政策が今後，着実に実行された場合を想定している．

また，2035 年時点では，中国，EU，米国，インドの需要が高まるものと予想される（**図 4-21**，**図 4-22**）．

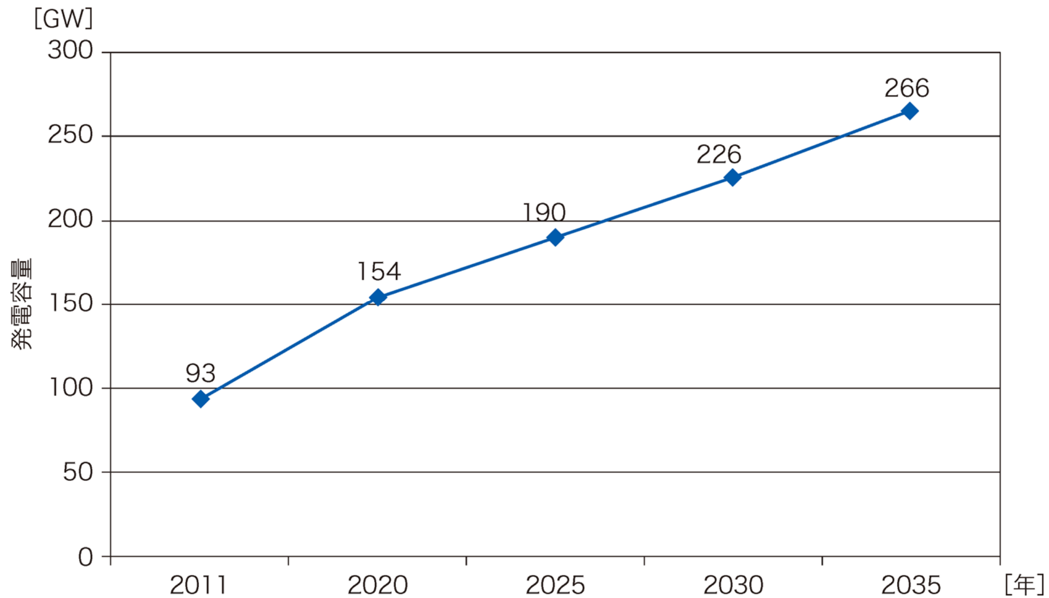


図 4-21　世界全体のバイオマス発電の発電容量の将来見通し（New Policies Scenario）

出典：“World Energy Outlook 2013”（2013，IEA）より NEDO 作成

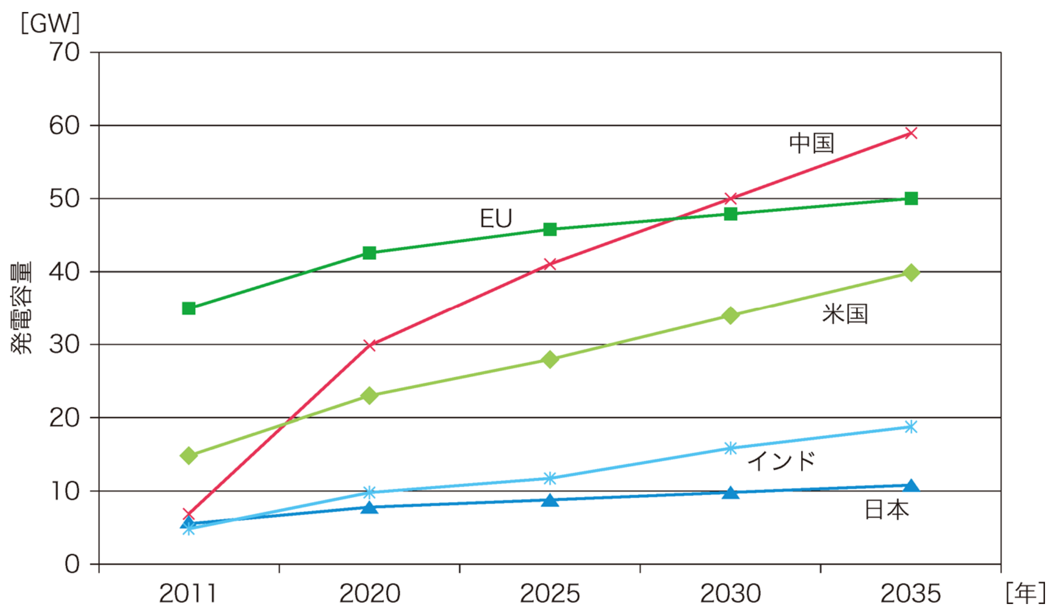


図 4-22　主要国のバイオマス，廃棄物の発電容量の将来見通し（New Policies Scenario）

出典：“World Energy Outlook 2013”（2013，IEA）より NEDO 作成

（2）市場動向

ここでは, 各国のバイオマス発電に関連する各種発電容量の 2000 年から 2009 年までの傾向および一般廃棄物，固体バイオマス燃料，バイオガス，液体バイオ燃料による発電容量の推移を整理した．なお，IEA の統計で発電容量のデータが把握されており，複数年に及ぶ統計データの連続性が確認できた国を掲載した．

1）英国

固体バイオマス燃料とバイオガス発電関連の設備導入が 2000 年から 2009 年まで増加傾向にあるのに対し，一般廃棄物発電はほぼ定常状態である．同期間中の年間当たりの発電容量の増加量を見ると，一般廃棄物発電では 11.2MW/年，固体バイオマス燃料発電では 55.3MW/年，バイオガス発電では 67.2MW/年となり, バイオガス発電の施設が中心となって整備されてきたと考えられる（**図 4-23**）.

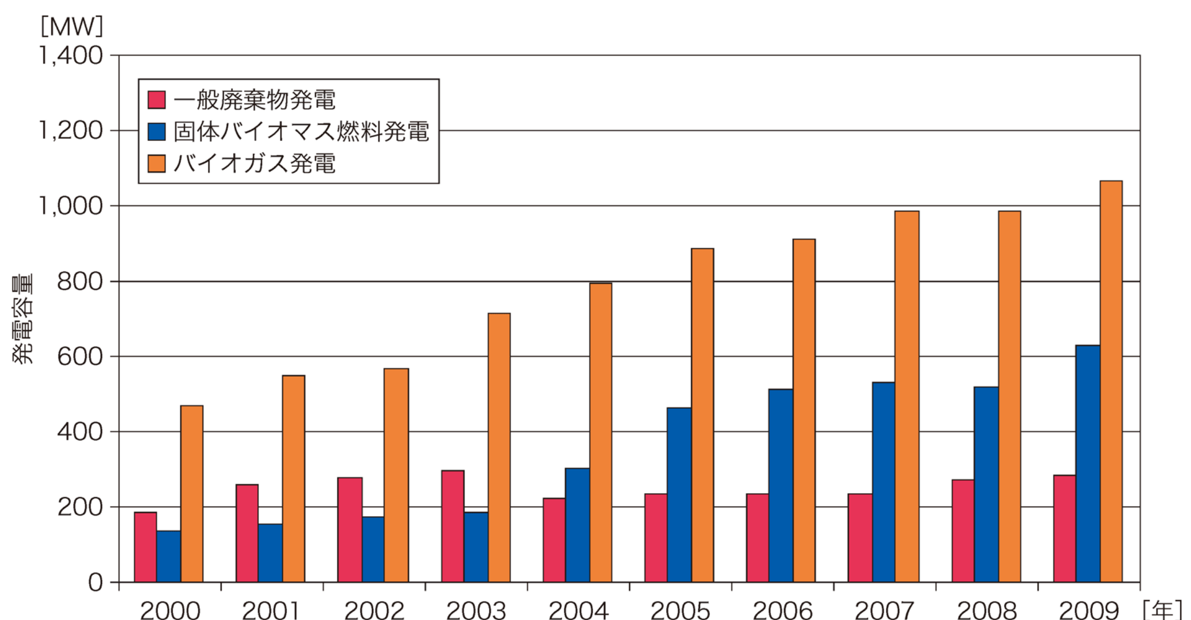


図 4-23　英国の各種発電容量の推移

出典：“Renewables Information 2011”（2011, IEA）, “Renewables Information 2008”（2008, IEA）, “Renewables Information 2005”（2005，IEA）より NEDO 作成

2）ドイツ

固体バイオマス燃料発電とバイオガス発電は 2000 年から 2009 年にかけて増加傾向で, 一般廃棄物発電は 2005 年以降ほぼ定常状態となり，液体バイオ燃料発電は 2005 年以降，発電し始めたと考えられる．同期間中の発電容量の増加割合を見ると，一般廃棄物発電で 97.2MW/年，固体バイオマス燃料発電で 212.6MW/年，バイオガス発電で 202.7MW/年，液体バイオ燃料発電については，2005 年から 2009 年の期間で 63.4MW/年となる．固体バイオマス燃料発電，バイオガス発電に関連する施設が中心となって整備されてきたと考えられる（**図 4-24**）.

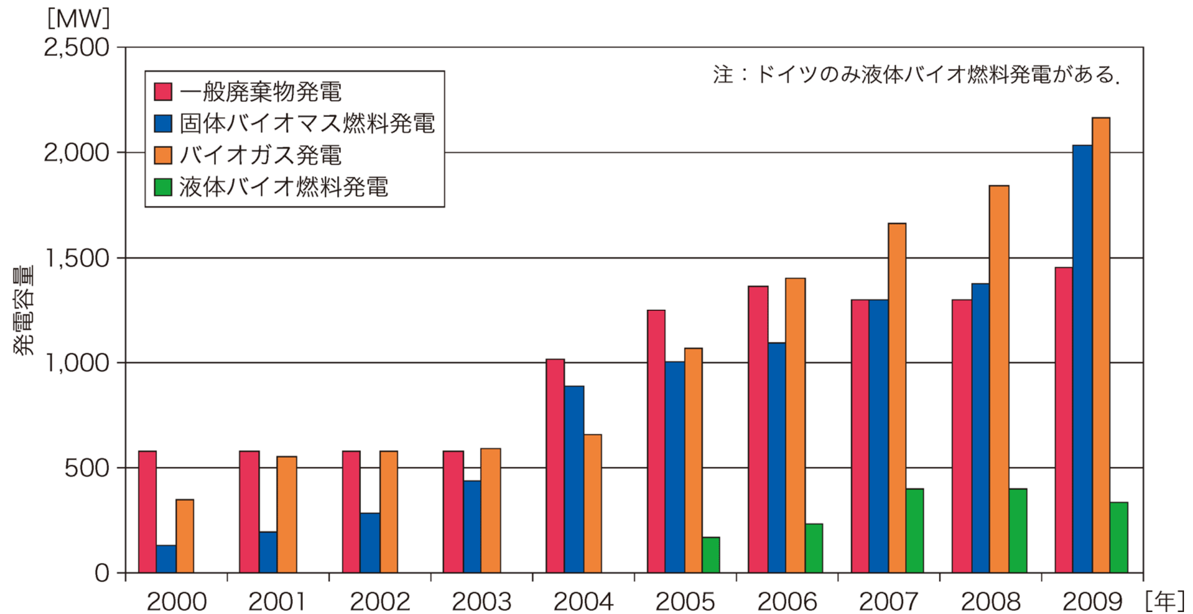


図 4-24 ドイツの各種発電容量の推移

出典:“Renewables Information 2011”(2011, IEA), “Renewables Information 2008”(2008, IEA), “Renewables Information 2005”（2005, IEA）より NEDO 作成

3）デンマーク

固体バイオマス燃料発電で, 2007 年に発電容量が極小となるものの, 総じて 2000 年から 2009 年まで増加傾向にある. 同期間中の発電容量の増加割合を見ると, 一般廃棄物発電で 9.2MW/年, 固体バイオマス燃料発電で 67.1MW/年, バイオガス発電で 3.8MW/年となり, 固体バイオマス燃料発電に関連する設備が中心となって導入されてきたと考えられる（**図 4-25**）.

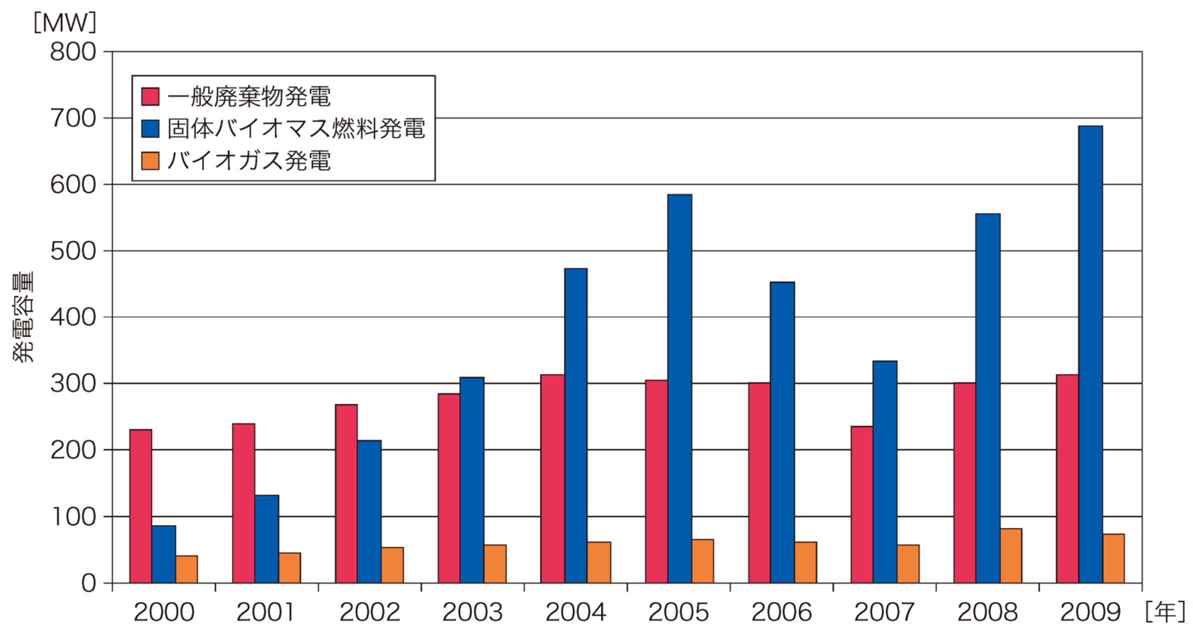


図 4-25 デンマークの各種発電容量の推移

出典:“Renewables Information 2011”(2011, IEA), “Renewables Information 2008”(2008, IEA), “Renewables Information 2005”（2005, IEA）より NEDO 作成

4）スペイン

2000 年から 2009 年まで，固体バイオマス燃料発電の発電容量が増加傾向にある．同期間中の発電容量の増加割合を見ると，一般廃棄物発電で 10.6MW/年，固体バイオマス燃料発電で 38MW/年，バイオガス発電で 14.9MW/年となり，固体バイオマス燃料発電施設が中心となって整備されてきたと考えられる（**図 4-26**）．

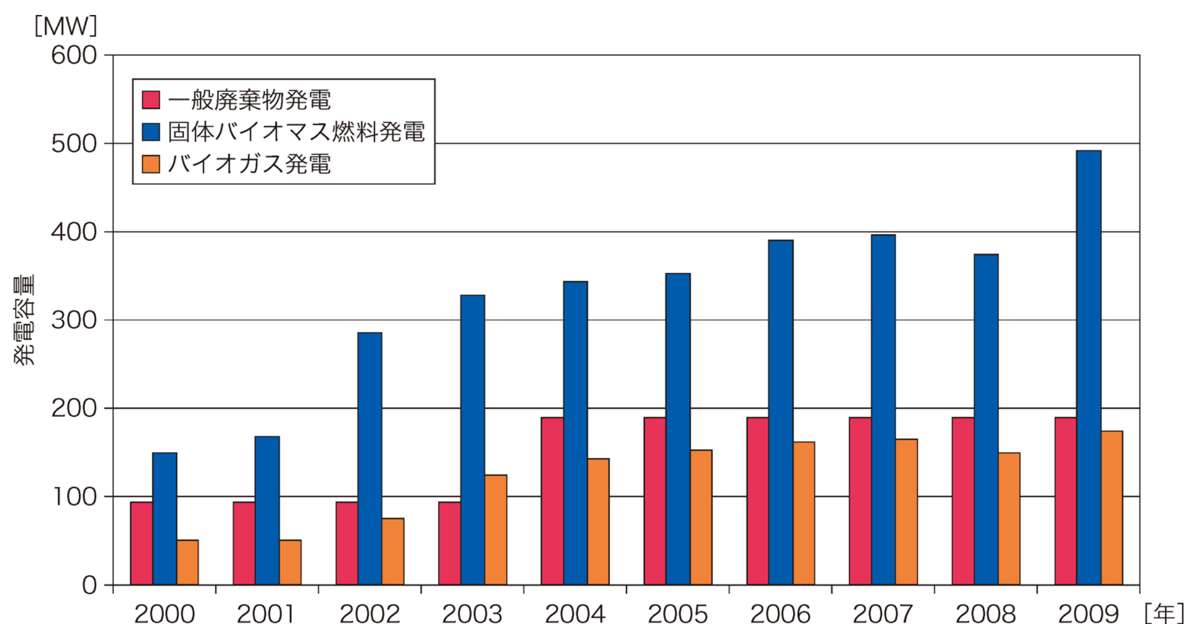


図 4-26　スペインの各種発電容量の推移

出典：“Renewables Information 2011”（2011, IEA），“Renewables Information 2008”（2008, IEA），“Renewables Information 2005”（2005，IEA）より NEDO 作成

5）ポルトガル

総じて，固体バイオマス燃料発電が増加傾向にある．これまでの各種発電量の増加割合を見ると，一般廃棄物発電で 1.4MW/年，固体バイオマス燃料発電で 13.6MW/年，バイオガス発電では 2.1MW/年となり，固体バイオマス燃料発電施設が中心となって整備されてきたものと考えられる（**図 4-27**）．

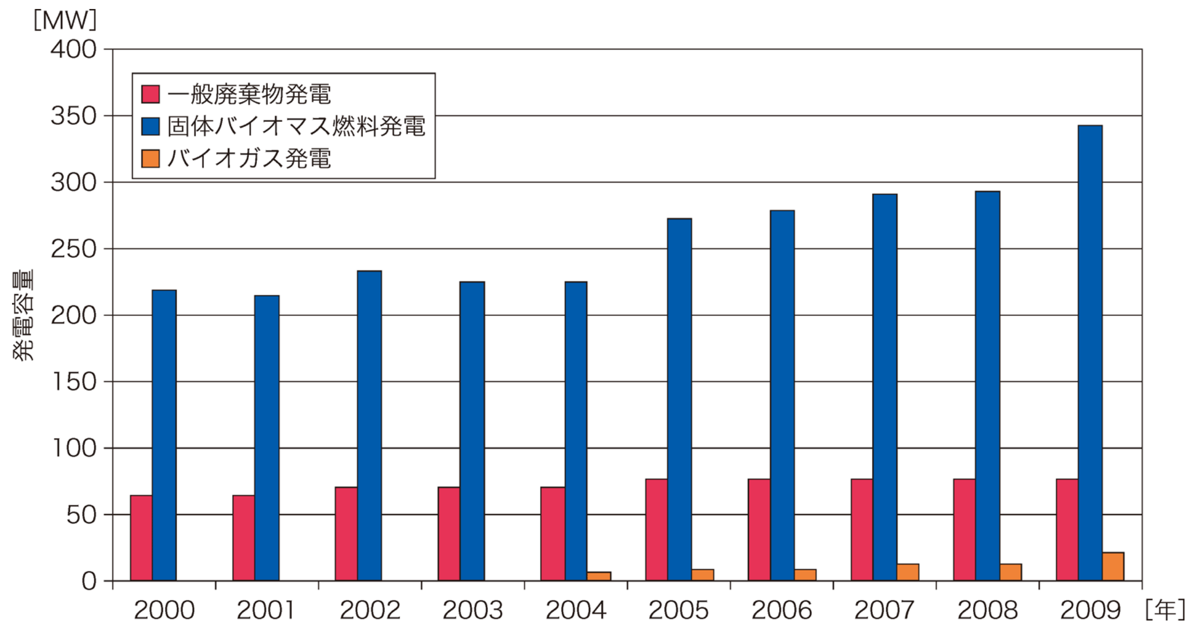


図 4-27 ポルトガルの各種発電容量の推移

出典:“Renewables Information 2011”(2011, IEA), “Renewables Information 2008”(2008, IEA), “Renewables Information 2005”(2005, IEA) より NEDO 作成

6) ハンガリー

2000 年から 2009 年までの発電容量の増加割合を見ると，一般廃棄物発電で 2MW/年，固体バイオマス燃料発電で 51.0MW/年，バイオガス発電では 2.6MW/年となり，固体バイオマス燃料発電の関連施設が中心となって導入されたものと考えられる（**図 4-28**）.

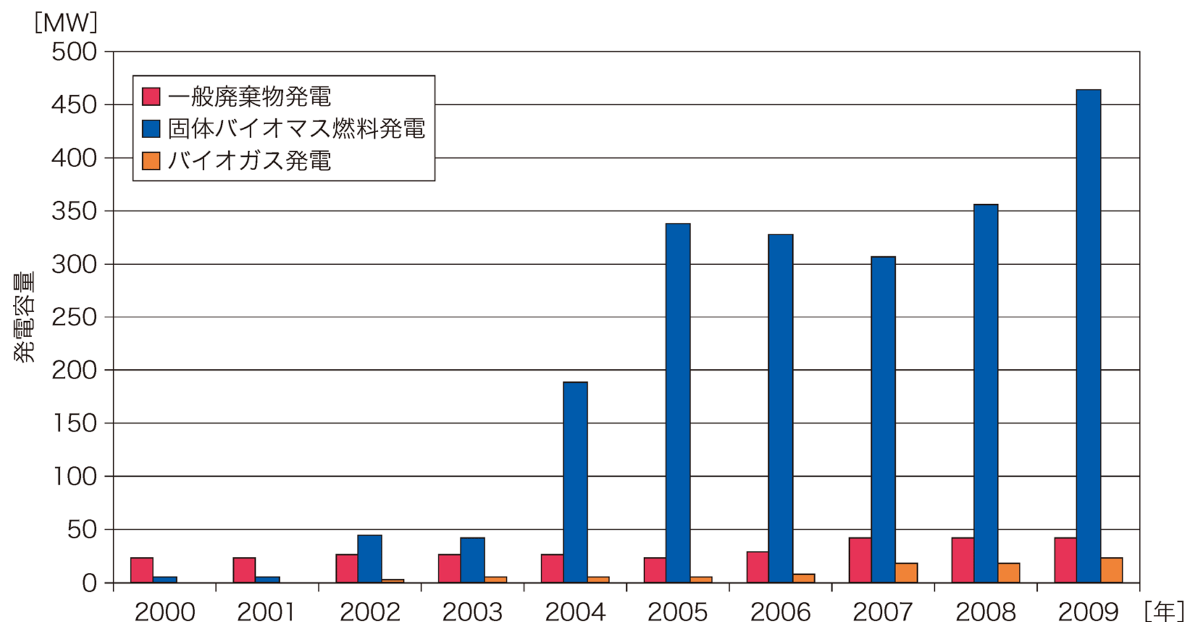


図 4-28 ハンガリーの各種発電容量の推移

出典:“Renewables Information 2011”(2011, IEA), “Renewables Information 2008”(2008, IEA), “Renewables Information 2005”(2005, IEA) より NEDO 作成

4.2.4 各国の技術開発動向

バイオマス発電の主な課題は，原料となるバイオマスの性状や品質の変動によって安定した出力が得られないことである．安定的な出力を長時間維持することによって，施設のランニングコストを抑えることができるため，原料品質の安定化は重要である．

表 4-13　バイオマス発電に関連する主要な技術課題

技術	主な原料	技術面の課題
直接燃焼	木質系バイオマス	・エネルギー効率の改善 ・混焼による発電効率の低下抑制技術の開発 ・前処理，原料調達の課題 ・副生成物の扱い
熱分解ガス化	木質系バイオマス 農業系バイオマス 下水汚泥	・製造コストの削減（低コスト化） ・タールの抑制技術，利用技術の開発・前処理，原料調達の課題 ・副生成物の扱い ・長期安定運転の実現 ・バイオマス原料を扱うことの出力変動
メタン発酵	家畜排せつ物 厨芥類 食品加工残さ 下水汚泥など	・高効率で安価な発酵装置およびメタン精製濃縮装置の開発 ・多様な原料の複合利用技術 ・アンモニア抑制・除去技術開発（乾式など） ・消化液の利用技術開発 ・脱硫，濃縮，精製，熱量調整など追加処理が必要

出典：NEDO 作成資料

また，特にメタン発酵では，脱硫しないと設備の腐食や劣化を招くこともあるため，バイオガスが生成された後の処理が重要であり，併せて原料に混入してくる金属や石などを取り除く前処理も重要となる．

バイオマス発電を行う際には，さまざまな課題を俯瞰して，それぞれの課題を解決していく必要がある（**表 4-13**）.

（1）欧州

欧州では，加盟各国共同で研究活動を行うための支援計画として「欧州フレームワーク計画（FP）[3]」が定められており，技術開発を行っている．欧州の FP6，FP7 のバイオマス発電関連のプロジェクトの概要を**表 4-14** に示す．最も多いのは，バイオマスを使ったコージェネレーションをテーマとしたもので，その他，ガス化プロセスに関連するテーマや，さまざまな燃料の組み合わせをテーマとしたものがある．

直接燃焼に関連する技術開発の動向としては，バイオマスボイラの燃焼炉の大型化や，高効率化を目指す技術開発が継続されてきており，今後も続くと考えられる．一方，地域への熱および電気の供給という観点から，特に欧州では燃焼炉の小型化も進められている．

バイオマスのガス化に関連する技術開発の動向としては，1990 年代から特に北欧のフィンランドを中心として，熱分解ガス化炉の大型化や高効率化の技術開発の取り組みが進み，現在では大規模のガス化が実用化されて，地域への熱および電気の供給に使われている事例が多くなってい

3 欧州フレームワーク計画（FP）とは，欧州連合（EU）の科学分野の研究開発への財政的支援制度．1984 年の FP1 から始まり，現在は FP7（2007～2013）が実施されている．

る．今後は，ガス化システムを小型化し，欧州以外の地域での展開が考えられる．

表 4-14　FP6，FP7 のバイオマス発電に関するプロジェクト（EU 委員会）

タイトル	概要	EU 委員会予算[ユーロ]	期間
BIOLIQUIDS	ディーゼルエンジンとマイクロガスタービンを様々なバイオ燃料（熱分解オイルや混合物）を扱えるようにすることを目的として，小～中規模スケール（500～1000 kWe）において高効率を達成.	1,602,318.75	2009 年 1 月～2011 年 1 月
DEBCO	様々な種類のバイオマスを混焼させるのに必要な操作経験を積むことを目的としたプロジェクト．バイオマスの混合割合を 50 %まで高め，モニタリングを実施.	4,304,769.00	2008 年 1 月～2011 年 12 月
NANOSTIR	固体バイオ燃料ボイラと小規模出力のスターリングエンジンと空冷機を組み合わせて効率よくエネルギー供給を行う．ナノテクコーティング素材を用いて熱交換器のスラグやスターリングエンジンの問題を減少させることを目的とした.	298,269.50	2008 年 1 月～2010 年 1 月
OLIVEPOWER	オリーブオイルの残さを使ったコージェネレーション・システムの開発．ギリシャにおいて埋め立てごみ，ガスを削減し，南ヨーロッパで再生可能な発電を目指す実証事業.	6,055,500.00	2007 年 1 月～2011 年 1 月
EU-AGRO-BIOGAS	農業系バイオガスプラント向けのメタン発生量を評価する基準の開発を目的としたプロジェクト．自動モニタリング，維持管理，警報システムを中～大規模のバイオガスプラントに適用する方法を開発.	3,900,000.00	2007 年 1 月～2010 年 1 月
TRIG	ヨーロッパ市場向けの新しい固体バイオマスを使ったコージェネレーション技術の開発.	1,073,572.00	2007 年 2 月～2009 年 8 月
AER-GAS II	バイオマスのガス化においてガス精製を行い，高水素濃度，高カロリー，低タールを実現してバイオマス発電を行う技術開発.	1,800,000.00	2006 年 1 月～2008 年 12 月
COPOWER	ポルトガル，イタリア，トルコでのバイオマス利活用の技術的経済的な課題を分析する．コージェネレーションのための石炭とバイオマスの混焼を対象.	2,061,386.00	2004 年 5 月～2007 年 4 月
BIOMASS USE IN BRIAN	バイオマスを使ってイタリアの Brianza でのコージェネレーションを行う際の技術的課題，経済的課題を整理し，公的機関による支援の可能性を分析する.	309,750.00	2004 年 6 月～2005 年 12 月

出典：European Commission Research & Innovation より NEDO 作成

メタン発酵に関連する技術開発の動向として，欧州では，既に地域の熱電供給にメタン発酵によって生成されたバイオガスが使われている．バイオガスの発生量の向上のため，原料の複合化が進められている．また，エネルギーの応用という観点からは，バイオガスを使えるガスエンジンの高出力化，低カロリーのガスでも使える工夫が技術開発のポイントとなっている．

（2）米国

米国の省エネルギー･再生可能エネルギー局（Energy Efficiency & Renewable Energy：EERE）で，米国のバイオマス複数年プログラム計画での研究開発目標が定められている．その中でバイオマス発電に関する目標が定められており，10MW と 20MW の規模で混焼発電する計画もある（**表 4-15**）．

表 4-15　米国のバイオマス発電に関する研究開発プログラムの目標

年度	目標の内容
2011 年	バイオマス発電方法の高度化に適した原料の品質を保つための仕様書を開発する.
2014 年	バイオマス原料の品質を高めるために，前処理方法と変換技術を開発する.
2015 年	10 MW の運転を開始して，温室効果ガス削減量を確認する.
2016 年	さらに進んだ 20 MW の運転を開始して，温室効果ガス削減量を確認する.
2016 年	石炭混焼割合 20 %を保つために前処理方法，変換技術を開発する.

出典："Biomass multi year program"（2011，EERE）より NEDO 作成

また，エネルギー省では，熱化学分解のテーマの中に，バイオマス発電と生成品利用が一つのテーマとして位置付けられている．2008 年度および 2009 年度については，**表 4-16** に示すテーマに従った予算額が付けられており，研究が進められている．

表 4-16　熱化学分解のテーマごとの予算額

テーマ	2008 年度および 2009 年度の予算額[ドル]
バイオオイルの性状調整と高品質化	26,642,125
ガス精製と性状調整	14,182,718
バイオマス発電と生成品利用	8,907,725
ガス化	8,343,552
燃料合成	5,189,735
熱分解	4,876,338
原料	2,325,290
総額	70,467,483

出典："2009 Thermochemical Conversion Platform Review Report"（2009，EERE）より NEDO 作成

表 4-17　バイオマス発電に関連する優先研究テーマ

カテゴリ	研究開発テーマ
前処理，変換技術	・コスト的に有効な前処理技術 ・前処理過程からのバイオマス中間性生物の特徴生理 ・前処理，変換プロセスにおける理論分析 ・前処理のスケールアップ化 ・バイオマス半炭化技術のコスト分析，大規模システムの実現可能性
大規模システム	・低温ガス化とガスのクリーンアップ技術 ・バイオマスの燃焼に関連した高温での素材研究 ・バイオマス発電のためのコスト的に有効なバイオオイル燃焼技術 ・大規模システムの実証（ボイラの更新，混焼など） ・既存の発電所，製紙工場の特徴の整理 ・下流工程におけるバイオ燃料データベースとの関連付け
小規模システム	・小規模熱分解ガス化における合成ガスのクリーンアップ技術 ・小規模（5 MW 未満）の熱電併給システムの開発 ・統合的な小規模システムの実証 ・コスト的に有効な小規模システムの排出制御技術
バイオマス発電における原料	・高収量を得られる原料の開発 ・原料の生産と輸送の最適化 ・エネルギー作物と残さ利用に関する流域規模でのモニタリング

出典："Biopower Technical Strategy Workshop Summary Report"（2010，EERE）より NEDO 作成

同じく EERE で，2009 年 12 月，バイオマスプログラムによって，米国でのバイオマス発電の機会を探るためのワークショップが開催されており，バイオマス発電に関連する優先的に行うべき技術開発と分析のテーマがカテゴリごとに示されている（**表 4-17**）．

バイオマス発電に関連する技術開発の傾向として，まず直接燃焼で 10MW と 20MW の大規模化とともに，石炭との混焼率を 20%に維持するための技術開発，原料の品質を高めるための前処理に関する技術開発などが行われている．

一方，熱分解ガス化では，ガス化によって得られる合成ガスのクリーンアップ技術（不純物である H_2S，目的としないガス成分の除去)，プラントからの排出制御，小規模の熱電併給システムの開発がテーマとして掲げられている．

（3）日本

NEDO では「新エネルギー技術研究開発　バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発」,「バイオマス等未活用エネルギー実証試験」,「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発」のテーマの下，これまでバイオマス発電に関連した技術開発を行ってきている．その中でも，熱分解ガス化，メタン発酵を対象とした研究テーマが多い．また，直接燃焼（混焼）についても，実用化技術開発という位置付けで研究開発が行われている（**表 4-18**）．

表 4-18　NEDO のバイオマス発電の研究開発事例

分類	研究テーマ	研究テーマの概要	関係機関	事業期間
直接燃焼（混焼）	バイオマス専用粉砕方式による既設微粉炭焚きボイラでの混焼技術の実用化開発	バイオマス混焼率 25 %を達成するための主要機器であるバーナー，ミルのうち，バーナーの構造を決定.	バブコック日立	2010 ～2013 年度
ガス化	都市廃棄物のガス化・メタノール合成による地域エネルギーシステム実用化に関する実証事業	浮遊外熱式ガス化法により紙ごみ，木粉からメタノール合成，発電を行う.	清水建設	2008 ～2010 年度
ガス化	小型バイオマスガス化発電装置の研究開発	50 kW のロータリーキルン型のガス化炉とガスエンジンによりパイロットプラントを設置し，ガス化発電試験を継続実施.	中外炉工業	2005 ～2007 年度
ガス化	多燃料・多種不純物対応乾式ガス精製システム研究開発	多種多様なバイオマス資源をガス化した時に含まれる不純物を一括して処理可能な乾式ガス精製システムを開発する.	電力中央研究所	2005 ～2007 年度
ガス化	マルチバイオマス対応ロータリーエンジンガスコジェネレーションシステムの研究開発	熱分解ガス化で発生するタールをコーク化し，高温排熱で改質. ロータリーエンジンを使用した小型コージェネレーション・システムを運用する.	三井造船プラントエンジニアリング	2005 ～2007 年度
ガス化	バイオマスガス化プロセスにおけるガス精製技術の開発	バイオマスをガス化した時のガス中の付着性ダストの除去技術とタール除去の技術開発を行う.	JFE エンジニアリング	2004 ～2006 年度

分類	研究テーマ	研究テーマの概要	関係機関	事業期間
メタン発酵	乾式メタン発酵技術における主要機器の低コスト化並びに効率的なバイオガス精製技術およびガス利用システムの実用化に関する研究開発系	乾式メタン発酵設備の投入装置についてのコストの低減とバイオガス中の硫化水素の事前除去を検討し，従来よりもメタン回収率の高い精製技術，精製ガスの効率的なオフサイト運用の検討を行う.	栗田工業	2010 ～2012 年度
メタン発酵	環境リスクに対応した鶏糞と油脂含有農業廃棄物の高温共発酵メタン化処理の開発	タイ王国中部ロッブリー地区において，鶏ふん（採卵鶏），油脂を多く含むキャッサバかす，ココナッツかすを原料としてメタン発酵を行い，メタンガス発電を行うとともに，発酵残さを原料の希釈水に活用する.	日立エンジニアリング・アンド・サービス	2008 ～2009 年度
メタン発酵	小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業	廃乳製品を原料に，従来の半分程度の滞留日数となる高速メタン発酵システムでバイオガスを生成．蒸気ボイラで熱回収を行う.	明治乳業，メタウォーター	2005 ～2009 年度
メタン発酵	バイオガスからのメタン回収および精製用 VPSA プロセスの研究開発	下水汚泥からのバイオガス中の硫黄化合物，シロキサン，CO_2 を低コストで除去し，高濃度メタンを精製する技術開発を行う.	三菱重工業	2004 ～2005 年度

出典：NEDO 作成資料

バイオマスのガス化に関する研究開発としては，得られるガスの精製やタールの除去，ガス化装置の小型化に関する研究開発が行われている（**表 4-19**）.

メタン発酵に関する研究開発としては，乾式メタン発酵をテーマとした研究開発や，原料に鶏ふん，醤油粕，廃乳製品を用いる研究開発などが行われている.

NEDO 以外の研究機関としては，例えば農業・食品産業技術総合研究機構（農研機構）でバイオマスのガス化や，メタン発酵に関連する技術開発が行われている．特に，ガス化については，採算性を向上させるためにバークを扱う研究開発が行われている.

表 4-19　農研機構の熱分解ガス化，メタン発酵の研究開発事例

分類	研究テーマ	研究テーマの概要	関係機関	事業期間
ガス化	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発Ⅲ系／小型ガス化発電装置実証試験	岐阜県高山市においてバーク，など製材残材を原料として，ロータリーキルン，ダウンドラフトの 2 段階ガス化を行い，50 kW の発電を行う．	森林総合研究所，中外炉工業	2007～2011 年度
ガス化	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発Ⅱ系／バイオマスの熱分解による燃料ガス生産技術の高度化	草本系バイオマスを浮遊外熱式ガス化法で熱分解を行い，熱分解ガス化発電を行うともに，触媒によりメタノール合成，エタノール合成を行う．	長崎総合科学大学，東京農業大学，積水化学工業，中央農業総合研究センター	2007～2010 年度
メタン発酵	地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発／（バイオマス利用モデルの構築・実証・評価）	千葉県香取市にある山田バイオマスプラントにおいて，都市近郊農村から発生する牛ふん，野菜加工残さを原料としてメタン発酵を行い，コージェネレーション，メタンガスの精製・圧縮利用，消化液の農地還元などを行う．	農村工学研究所，東京大学生産技術研究所	2005～2011 年度

出典：NEDO 作成資料

4.2.5 世界のビジネス動向

（1）直接燃焼

1）海外

バイオマスを原料として直接燃焼するボイラの種類としては，**表 4-20** で示す循環流動層（Circulating Fluidized Bed）形式や，バブリング流動層（Bubbling Fluidized Bed）型式が挙げられ，プラントメーカーとしては FosterWheeler 社や Metso 社などが挙げられる．各社の導入実績から，循環流動層形式のほうが大規模発電への適用例が多い．

2）日本

日本国内のバイオマスボイラの現状については，発電規模が大きい場合には循環流動層形式が適用される．一方，小規模の木質チップやペレットなどを扱うボイラの場合には無圧温水型の形式が選択される．

3）今後の企業の取り組み動向

バイオマスの直接燃焼では，海外の FosterWheeler 社など老舗のボイラメーカーがこれまでに技術開発を進めており，大規模化という観点からは国内企業に先んじて開発している．

海外企業の動向として，特に欧州では，これまでの化石資源を使った工場や発電所などで，バイオマス資源に切り替えていく流れが起こりつつあり，関連設備需要が想定される．例えば FosterWheeler 社は，スウェーデンの南部の LundsEnergy 社が既存の化石燃料で運転している古い設備をバイオマスを使ったコージェネレーション・プラントに新しく切り替えるため，2014 年第 2 四半期に商用運転する予定の循環流動層 35MW のボイラの設計と供給を担当することになった（**表 4-20**）．

表 4-20　海外の主要なバイオマスボイラメーカーの取り組み

炉の区分	プラントメーカー名	炉の形式	原料となるバイオマス	導入実績
流動層	Foster Wheeler (本社：スイス)	循環流動層	木質系バイオマス，穀物残さ，ピート，リサイクル木材，	・発電容量は 10～2,200 MW までである. ・EU の他，米国，チリ，韓国に導入実績がある．韓国は石炭混焼で 2,200 MWe の規模を誇る.
		バブリング流動層	木質系バイオマス，バーク，紙ごみ，汚泥，バイオ燃料	・発電容量は 10～50 MW までである. ・EU の他，米国，ポルトガル，チリに導入実績がある.
	Metso (本社：フィンランド)	循環流動層	バーク，ピート，スラッジ，廃木材，木質チップ，林地残材	・熱容量 50～600 MWth，現在 350 MWe（850 MWth）へスケールアップの設計中である. ・原料となるバイオマスは様々なものを経験しており，ピート 16 箇所，スラッジ 2 箇所，廃木材 17 箇所，チップ 2 箇所，林地残材 4 箇所の導入実績がある.
	Babcok & Wilcox volund (本社：米国)	循環流動層	木材，木質系バイオマス	・米国ジョージア州で 53.5MW のバイオマス発電所の建設，運用に参画する予定.
		バブリング流動層	バーク，廃木材，製紙工場残材，下水汚泥	
	ALSTOM (本社：米国)	循環流動層	木質，廃木材，紙，農業系バイオマス，厨芥類	・英国で石炭混焼発電所の 4,000 MW の導入事例がある. ・10～60 MW クラスのバイオマス専用の蒸気タービンの 1,000 箇所以上の実績がある. ・50～130 MW クラスの中規模の蒸気タービンも開発している.

出典：NEDO 作成資料

我が国においては，原料調達コストが高いことや，安定的な原料調達の実現性を鑑みると，木質系バイオマス専焼の大型ボイラを導入できるケースは少ないと考えられる．しかし，欧州では化石燃料を可能な限りバイオマスに切り替える動きがある一方，日本国内でも同様の動きが期待され，今後は導入が増えていくものと考えられる（**表 4-21**）.

また，特に東南アジアでは，我が国の複数のプラントメーカーが，これまでにバイオマスを原料としたボイラを納入した経験があり，加えて，これまでに蓄積した環境対応技術やプラント外部へ有害成分の排出を抑えるノウハウなどを有している．さらに，日本や東南アジアの高温多湿等の厳しい環境の下，含水率の変動の激しいバイオマスを扱ってきた経験もあることから，今後，更なる受注機会があるものと考えられる.

表 4-21 国内の主要なバイオマスボイラメーカーの取り組み

炉の区分	プラントメーカー名	炉の形式	原料となるバイオマス	導入実績
流動層	JFE エンジニアリング	JFE 循環流動層ボイラ	低品位炭，バイオマス，スラッジ，木くずのほか，廃プラスチックや廃タイヤも対応可能	・岩国ウッドパワー岩国発電所 （蒸発量 45 t/h，発電出力 10,000 kW）
	住友重機械工業	Foster Wheeler 循環流動層ボイラ （CFB ボイラ） ・産業用ボイラ（蒸発量 25～300t/h） ・電力用（500t/h）	木質系バイオマス，スラッジなど	・川崎バイオマス発電所 （発電出力：33,000 kW） ・グリーン発電会津（発電出力 5,000 kW，今後着工予定）
	タクマ	流動層ボイラ	バーク，ピンチップ，ソーダストから各種木質系廃棄物，もみがら，みかん粕，ビール粕，コーヒー粕などの農産廃棄物，木，紙，プラスチックなどの固形化燃料，各種スラッジ	・海外でのバイオマス焚ボイラの導入に多数の実績があり，2006 年時点で 214 缶を納入している．
	三井造船	三井循環流動層ボイラ	廃木材，汚泥	・市原グリーン電力 ・バイオマス混焼の実績件数は 4 件ある．
	荏原環境プラント	バイオマス用 CFB （内部循環層ボイラ）	バーク，生オガクズ，乾燥オガクズ	・吾妻バイオパワー（発電出力：13,600 kW） ・神之池バイオマス発電所 （発電出力：21,000 kW）
	ヒラカワガイダム	流動層 （無圧式温水ボイラ）	木質ペレット，チップ	・出力規模は 100 kW～540 kW で，世界で 1000 を越えるシステム稼働実績を有する．無圧温水式ボイラで，バーナーコントロール機能，自動灰出し機構などを有する PYROT という製品を出している．
固定床	トモエテクノ	固定床 UTSR シリーズ（高含水率チップ対応：含水率 120 %基準，含水率 150 %まで燃焼可能）	生チップ	・無圧温水型，簡易ボイラのラインアップが中心． 出力規模：100 kW～5,000 kW
	協和エクシオ	固定床	木質バーク	・出力規模：300 kW～4,000 kW
	タカハシキカン	2 段燃焼方式	木皮，木端，紙系，繊維系，RDF 等	・木くず焚ボイラ KT-H 型が発電用であり，マレーシア，中国，シベリアに輸出実績あり．

出典：NEDO 作成資料

（2）熱分解ガス化

1）熱分解ガス化炉

i）海外

バイオマスの熱分解ガス化は，循環流動層，バブリング式流動層，ダウンドラフト式固定床，アップドラフト式固定床などの方法がある．発電出力を数 10～100MW までの範囲で設計したい場合には循環流動層方式が適しており，発電出力を数 MW 以下といった，比較的小型の範囲で設計したい場合には固定床方式が用いられることが多い（**表 4-22**）.

表 4-22　海外の主要な熱分解ガス化プラントメーカーの取り組み

炉形式	プラントメーカー名	ガス化の方式	原料バイオマス	導入実績
流動層	Foster Wheeler （本社：スイス）	循環流動層	バーク，木質チップ，製材ボードの端材	・フィンランド，ベルギーでの納入実績がある. 出力規模：13～30 MW
	Metso （本社：フィンランド）	循環流動層	木質系バイオマス	・発電規模：上限 100 MW まで対応可能. 既存のボイラをバイオマスや廃棄物ボイラに改造可能.
	Carbona （本社：フィンランド）	循環流動層，バブリング流動層	バーク，製材残材，木質系バイオマス，木質チップ，ペレット	・出力規模： 17～35 MW 循環流動層（CFB 型） 1～28 MW バブリング流動層（BFB 型）
固定床	Sasol Lurgi （本社：ドイツ）	固定床（FBDB 型）	石炭，バイオマスペレット	・世界のガス化容量の 41 %，石炭ガス化の 75 %以上が Sasol-Lurgi プロセスを用いている（2007 年時点の導入実績 101 件）. ・商用規模での石炭へのバイオマスペレット 10 %混焼の実証に成功.
	PRM（本社：米国）	固定床 （アップドラフト式）	排木材，農業残さ，製紙工場のスラッジ，RDF など	・出力規模：1～25 MW ・米国の穀倉地帯の施設ではもみ殻の ガス化を行い，6～8 MW の発電を行う.
	Babcock & Wilcox volund （本社：米国）	固定床 （アップドラフト式）	木質チップ	・JFE エンジニアリングにライセンス供与し，山形県村山市（山形グリーンパワー）に導入．出力規模：2 MW
	Entimos （本社：フィンランド）	固定床 （アップドラフト式）	木質チップ，製材残材，家庭ごみ	・出力規模：1～7 MW

出典：NEDO 作成資料

熱分解ガス化技術に関しては，フィンランドなどの北欧諸国が技術開発を進めてきており，大型の循環流動層の開発に成功している．現在では，小型化しつつ高効率を達成する方向に転換して，より高度な技術が必要とされてきている．なお，北欧地域では，発電だけではなく限られた範囲での地域への熱電併給にも熱分解ガス化技術が使われている．

ii）日本

日本国内でバイオマスの熱分解ガス化によって得られる発電出力は，数十 kW から最大で 2,000kW となっている．

日本国内で，熱分解ガス化の原料として間伐材を使う場合，収集および運搬コストが欧米諸国と比べて高く，広範囲から原料を集めた上での大規模な取り組みはできない環境下にある．しかし，ガス化技術は小規模なスケールでも一定以上の効率を得られるため，製品の調達コストや施設のランニングコストが下がれば，エネルギーの地産地消の取り組みとして国内でもさらに普及することが見込まれる（**表 4-23**）．

表 4-23　国内の主要な熱分解ガス化プラントメーカーの取り組み

炉形式	プラントメーカー名	ガス化方式	原料バイオマス	導入実績
流動層	タクマ	循環流動層	下水汚泥	・埼玉県三郷市　200 kW
	川崎重工	流動層	木質系バイオマス	・高知県仁淀町　150 kW
固定床	JFE エンジニアリング	アップドラフト式	木質系バイオマス	・山形県村山市 2,000 kW ・石川県石川市 2,000 kW
	月島機械	ダウンドラフト式	木質系バイオマス	・埼玉県秩父市　115 kW ・秋田県仙北市　360 kW
	ヤンマー	ダウンドラフト式	木質系バイオマス	・岩手県奥州市　35 kW ・山梨県甲州市
ロータリーキルン	中外炉工業	外熱式多筒型キルン	すすきなどの草本系バイオマス，バーク材，間伐材，製材残材などの木質系バイオマス	・熊本県阿蘇市　180 kW ・山口県岩国市　180 kW ・山口県山口市　176 kW ・大阪府堺市　15 kW ・岐阜県高山市　50 kW

出典：NEDO 作成資料

2）ガスエンジン

i）海外

熱分解ガス化に用いられるガスエンジンについては，カロリーが高くなければガスエンジンを回すことができないため，合成ガスの性能に大きく左右される熱分解ガス化に用いられるガスエンジンの主な海外メーカーとしては，MAN 社と GE.Jenbacer 社が挙げられる（**表 4-24**）．

表 4-24　海外の主要な熱分解ガス化発電に用いられるガスエンジンメーカー

メーカー名	特徴	発電出力	原料	導入実績
MAN （本社：ドイツ）	・単一燃料またはデュアルフューエルに対応．発電とコージェネレーションが可能.	17 MW, 55 MW	天然ガス, バイオガス	・八戸市
GE.Jenbacer （本社：米国）	・90 %以上のプラント全体の効率を生成するためにエンジンの運転中に発生する廃熱を使用する. ・約 40 %の一次エネルギーの節約	0.3～3 MW	厨芥などから発生する発酵ガスや熱分解ガス	・10 機 （日本国内）

出典：NEDO 作成資料

ii）日本

日本の熱分解ガス化用のガスエンジンを納入しているメーカーとしては，ヤンマーや新潟原動機がある．ヤンマーのエンジンは，バイオマス由来のガス，軽油，軽油代替燃料などその他の補

助燃料と組み合わせてエンジンの一定出力を実現するもので，デュアルフューエルエンジンとして有名である．また，新潟原動機製のエンジンは，通常のガスエンジンをカスタマイズして，低カロリーなガスでも着火できる仕組みにしている（**表 4-25**）．

表 4-25　国内の主要な熱分解ガス化発電に用いられるガスエンジンメーカー

メーカー名	技術の特徴／出力規模	発電出力	原料	導入実績
ヤンマー	・合成ガスを対象としたデュアルフューエルエンジンにより，バイオマス由来のガスと軽油など補助燃料を組み合わせて安定出力を実現できる.	0.03 MW 0.3 MW	木質系バイオマス	・岩手県奥州市 ・山梨県古屋製材
新潟原動機	低カロリー用にガスエンジンをチューニングして，中部電力，新日鉄住金エンジニアリング，新潟原動機の 3 者が，木質系バイオマスを燃料とする高効率ガス発電システムの実証試験を実施	0.32 MW	木質系バイオマス	・中部電力新名古屋火力発電所構内

出典：NEDO 作成資料

3）今後の企業の取り組み動向

海外，特に北欧では，熱分解ガス化プラントの大型化が実現されており，現在はダウンサイジングの局面を迎えているところである．小型化していくことによって，より狭いエリアでのコージェネレーションの実現や，東南アジアやアフリカといったエネルギーインフラの未整備地域でのエネルギー供給を推進していく可能性がある．

日本の技術の特徴は，熱分解ガス化技術の普及に必要となる技術の小型化に強みがあることから，海外，国内に限らず需要が伸びるものと期待される．

（3）メタン発酵

1）メタン発酵槽

i）海外

メタン発酵の発電規模としては，下は数百 kW から上は数 MW まで幅広いのが特徴である．例えば，プラントメーカーの一つである Haase 社は，コンテナサイズの大きさでメタン発酵の発電ユニット，制御装置，およびガスの精製装置をモジュール化して販売している．

海外のメタン発酵は，これまで日本での処分の中心であった家畜排せつ物に加え，牧草や厨芥類，農業系残渣，資源作物など複数の原料を投入して，より多くのバイオガスを得るための取り組みが行われている点が特徴である（**表 4-26**）．

ii）日本

日本国内のメタン発酵プラントでの発電規模としては，1MW 規模の実績は存在せず，数百 kW 程度までの規模の実績となっている．日本では，これまで家畜排せつ物の処理や下水汚泥の処理を中心として湿式のメタン発酵設備が導入されてきたが，最近は，より多くのバイオガスを得て施設の維持管理の負担を軽減する目的から，複合的に厨芥類や食品加工残渣などの原料を組み合わせて取り組む事例が増えてきている（**表 4-27**）．

表 4-26　海外の主要なメタン発酵メーカーの取り組み

発酵形式	プラントメーカー名	原料となるバイオマス	導入実績
乾式	Kompogas (本社：スイス)	果樹，野菜くず	・発電規模：600～1,000 kW ・18 年間で 50 施設の導入.
乾式	Axpo Kompogas AG (本社：スイス)	牧草，野菜くず	・発電規模：330～625 kW ・導入件数：65 件
乾式	Organic Waste Systems (本社：ベルギー)	厨芥類，牧草，下水汚泥	・発電規模：220～440 kWh/t ・導入件数：31 事例
乾式 湿式	BioConstruct (本社：ドイツ)	牧草，家畜排せつ物	・発電規模：500～5,460 kW ・導入件数：101 件
乾式 湿式	Strabag Umweltanlagen GmbH (本社：ドイツ)	メイズ，牧草，家畜排せつ物，下水汚泥，厨芥類	・発電規模：500～4,000 kW ・導入件数：58 件
湿式	ArrowBio (本社：イスラエル)	厨芥類	・発電規模：上限 2,500 kW (中温発酵)
湿式	Biogas Nord AG (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：75 kW から. ・導入件数：ドイツ，オランダ，米国，イタリア，英国，ベラルーシ，アイルランド，タイ，キューバ，ルーマニアなどに 300 件以上
湿式	Biotechnische Abfallverwertung (本社：ドイツ)	家畜排せつ物，メイズ，下水汚泥，厨芥類	・発電規模：130～625 kW ・導入件数：46 件
湿式	Envitec Biogas AG (本社：ドイツ)	家畜排せつ物，下水汚泥，排水	・発電規模：160～4,000 kW ・導入件数：工事中の案件も含め 418 件. ドイツ，イタリア，チェコ，フランス，インド，ハンガリーなどに納入.
湿式	Haase (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：170～2,000 kW 発電ユニット，制御装置，フレア燃　焼装置などモジュールがパッケージ化されている.
湿式	Wehrle (本社：ドイツ)	牧草，家畜排せつ物	・発電規模：2,000 m^3 のバイオガスで電力量 14,000 kWh を得られる.
湿式	Weltec BioPower GmbH (本社：ドイツ)	家畜排せつ物	・発電規模：30～1,590 kW ・導入件数：250 件

出典：NEDO 作成資料

2）バイオガス用のガスエンジン，マイクロガスタービン

i）海外

メタン発酵で得られるバイオガスについては，北欧，特にデンマーク，ドイツなどで，バイオガスによるコージェネレーションを目的として，地域にエネルギーを供給する取り組みが盛んである．一方，一戸の農家のレベルでメタン発酵施設を導入してエネルギーを回収するため，コージェネレーション用の機器を導入するケースもあり，そのための製品を製造するメーカーも存在する．メタン発酵で得られるバイオガスについては，バイオガスの濃縮および精製のプロセスが必要になる．その際，硫黄成分や重金属が含まれることがあり，それらを取り除くプロセスも併せて必要となる．このようなバイオガス用のエンジンを作っているメーカーの取り組み例を**表 4-28** に示す．日本国内に導入された事例としては，京都府の南丹市（旧八木町）のメタン発酵施設で使われている GE.Jenbacher 社と Caterpillar 社のガスエンジンがある．

表 4-27　国内の主要なメタン発酵メーカーの取り組み

発酵形式	プラントメーカー名	メタン発酵槽の形式	原料バイオマス	導入実績
湿式	鹿島建設	高温メタン発酵	厨芥類, 食品系廃棄物	・高温メタン発酵システムのメタクレスをパッケージ化.霧島酒造本社に納入.
湿式	コーンズ・アンド・カンパニー・リミテッド	湿式中温発酵	牛ふん尿, 豚ふん尿, 食品残さ	・発電規模の最大値：300 kW ・全国の納入実績：26 箇所
湿式	JFE エンジニアリング	ビガダン式 (湿式高温発酵および湿式中温発酵)	下水汚泥，厨芥類, 食品加工残さ	・JA 士幌町
湿式	神鋼環境ソリューション	湿式中温発酵	厨芥類，汚泥	・日田市（ドイツ・リンデ社の技術を使用） ・実証プラント 4 件を含む 7 件.
湿式	水 ing	湿式発酵 （固形物）	厨芥類，汚泥, 家畜ふん尿, 食品廃棄物	・上越バイオマス循環事業組合 ・黒部 E サービス
湿式	水 ing	湿式発酵	家畜ふん尿	・ガスホルダー一体型の低ランニングコストの製品
湿式	三井造船	無動力撹拌式 湿式メタン発酵	畜産ふん尿，厨芥類, 食品廃棄物, 下水汚泥，し尿	・発電規模：30～400 kW ・国内の導入実績：11 件
湿式	メタウォーター	高速メタン発酵 (汚泥減容技術)	汚泥, 食品残さ	・熊本県八代北部浄化センターで実証
乾式	栗田工業	乾式メタン発酵	紙ごみ, 家畜排せつ物	・屋久島で実証（発電規模：14 kW）
乾式	大成建設	乾式メタン発酵 (無加水メタン発酵)	水産系残さ, 食品系廃棄物	・釜石市で実証，一日 500 kg を処理.
乾式	タクマ	乾式メタン発酵 (発酵温度 55 ℃)	厨芥類，食品廃棄物, 紙，草本類	・京都市 55 kW の発電規模
乾式	日立エンジニアリング・アンド・サービス	乾式メタン発酵	鶏ふん（採卵鶏), 食品残さ	・山形県米沢市において 5 t/ 日の処理量から約 150 m^3N/ 日のガスを発生させ，隣接するメッキ炉の燃料に活用.

出典：NEDO 作成資料

マイクロガスタービンについては，**表 4-29** に示すとおり，Capstone Turbine Corporation 製のものが有名である．しかし，ガスエンジンと同じく，バイオガスを扱うための配慮が必要となる．

ii）日本

国内のバイオガス用エンジンメーカーとしては，ヤンマー，新潟原動機，JFE エンジニアリングが挙げられる．なお，新潟原動機は IHI と連携している．各社は，ガスエンジンをバイオガスでも使えるように技術開発を行っている．特に下水処理場での運用では，ガスエンジンでのシロキサン化合物[4]の除去装置が必要となる．

[4] シャンプー，リンス，整髪剤などが生活排水に流れ込み，燃焼すると CO_2，H_2O，SiO2 が発生し，SiO2 がエンジンの燃焼室内部に付着して残留するため，定期的なメンテナンスが必要となる．

表 4-28 海外の主要なバイオガス用エンジンメーカーの取り組み

メーカー名	技術の特徴／出力規模	導入実績
ALFAGY （本社：英国）	バイオガスを対象としたコージェネレーション用エンジン出力規模：53～1,750 kW	・英国等に導入
Bioenergysystem （本社：ドイツ）	バイオガスを対象にしたコージェネレーション用エンジン 出力規模：ガスエンジン 500 kW，568 kW	・オーストリア等に導入
Caterpillar （本社：米国）	バイオガス，埋立処分場のガスを対象として，64～1,966kW までの導入実績がある．	・日本国内には南丹（八木町）のメタン発酵施設
ENER-G （本社：英国）	バイオガスを対象にしたコージェネレーション用エンジンを開発．出力規模：165～2,000 kW	・埋立処分場など 80 箇所に導入実績がある．
GE.Jenbacher （本社：米国）	Jenbacher Type2： 249～ 330 kW Type3： 500～1,000 kW Type4： 800～1,500 kW Type6：1,800～4,400 kW 920： 10,000 kW	ガスとしては，埋め立て処分場のガス，バイオガス，下水処分場のガス，木質ガス，熱分解したガスなど． ・日本国内には南丹（八木町）のメタン発酵施設
Greenvironment （本社：ドイツ）	バイオガスを対象としたコージェネレーション用エンジン 出力規模：65～1,000kW	・ドイツ，フィンランドにバイオガス用の施設を 20 箇所導入．
INOVAS （本社：ドイツ）	バイオガスを対象としたコージェネレーション用エンジン 出力規模：1.5～170 kW	・ドイツ国内に導入．
MAN （本社：ドイツ）	バイオガスを対象としたコージェネレーション用エンジン 出力規模：36～361 kWe	・チェコの MOTORGAS と連携
SEVA （本社：ドイツ）	バイオガス，埋立処分場のガスを対象にしたコージェネレーション用エンジン（オットーエンジン） 出力規模：50～1,700 kW	・ドイツを中心に 167 件の導入実績がある．
Waukesha （本社：米国）	バイオガスを対象としたコージェネレーション用エンジン 出力規模：258 ～ 980 kW	・スロバキア，チェコ，ポーランドの計 14 カ国に 64～1,659 kW の施設を納入． ・チェコの MOTORGAS と連携．

出典：NEDO 作成資料

表 4-29 海外の主要なバイオガス用マイクロガスタービンメーカーの取り組み

メーカー名	技術の特徴／出力規模	導入実績
Capstone Turbine Corporation （本社：米国）	バイオガスを対象としたマイクロガスタービン 出力規模：30 kW，65 kW，200 kW の製品がある．	・北海道砂川地区クリーンプラザくるくる（30 kW，鹿島建設のメタクレスと連動） ・海外では，下水処理場，ごみ埋立処理場，家畜排せつ物の処理場での導入事例がある．
Turbec （本社：イタリア）	バイオガスを対象としたマイクロガスタービン 出力規模：100 kW	・英国を中心に家畜排せつ物，ごみ埋立処分場，下水処理場を対象とした導入実績がある．

出典：NEDO 作成資料

表 4-30 国内の主要なバイオガス用マイクロガスタービン，エンジンメーカーの取り組み

メーカー名	技術の特徴／出力規模	導入実績
ヤンマー	25～750 kW クラスのコジェネ用製品	・佐賀市下水浄化センター
新潟原動機（IHI と提携）	東京電力森ケ崎水再生センターに，新潟原動機のガスエンジンとガスタービンによるバイオマス発電設備を導入．都市ガス 13 A の規格に比べ 2 分の 1 程度の発熱量のガスに対して，着火の仕組みをマイクロパイロット着火方式に改良することにより対応した．	・東京電力森ケ崎水再生センター
JFE エンジニアリング	バイオガスエンジン発電システムとして，下水処理場で発生する汚泥を嫌気性発酵により得られるバイオガスをガスエンジン用で使用する製品をパッケージ化している．出力規模：210～1,100 kW	・JA 士幌町
荏原製作所	マイクロガスタービンと温水ヒータ又は蒸気ボイラを防音エンクロージャー内に搭載してパッケージ化している．出力規模：95 kW	・福岡県久留米市中央浄化センター，他多数

出典：NEDO 作成資料

国内のバイオガス用マイクロガスタービンについては，荏原製作所が独自開発のマイクロガスタービンを組み合わせたシステムを展開している．また，明電舎，タクマ，住友商事，三菱商事などが，Capstone Turbine Corporation と連携して同社のマイクロガスタービンを組み合わせたコージェネレーション用のシステムを展開している（**表 4-30**）．

3）今後の企業の取り組み動向

海外，特に英国，ドイツなど欧州の一部の地域では，4.2.3（2）「市場動向」で示したとおり，バイオガス発電の導入が進んでおり，かつ，日本と比べて規模の大きな取り組みが進んでいる．今後もこの傾向は継続し，各国の目標にも掲げられているとおり，メタン発酵関連の市場は拡大することが予想される．

一方，国内では，以前は，家畜排せつ物の処理，下水汚泥の処理でメタン発酵を活用する取り組みが主流であった．最近では，珠洲市や稚内市，黒部市，上越市などで，バイオガスの収量を上げるため，複合的に厨芥類などの原料を投入する動きが見られる．このように，市町村など地方自治体が主体となった行政サービスの一環として，ごみの焼却から厨芥類の分別回収までを伴ったメタン発酵への切り替えが進んでいくことが期待される．その際は，発生する副産物を，飼料，肥料，液肥などに活用し，地域での資源の循環の形成が重要となる．

4.3 バイオマス熱利用

4.3.1 技術の概要

（1）技術の俯瞰

バイオマス熱利用技術とは，バイオマス資源から効率的に熱利用するためにバイオマス原料を製造し，それらをエネルギー変換技術によって熱エネルギーに変換し，さまざまな用途に利用する技術である（**図 4-29**）．

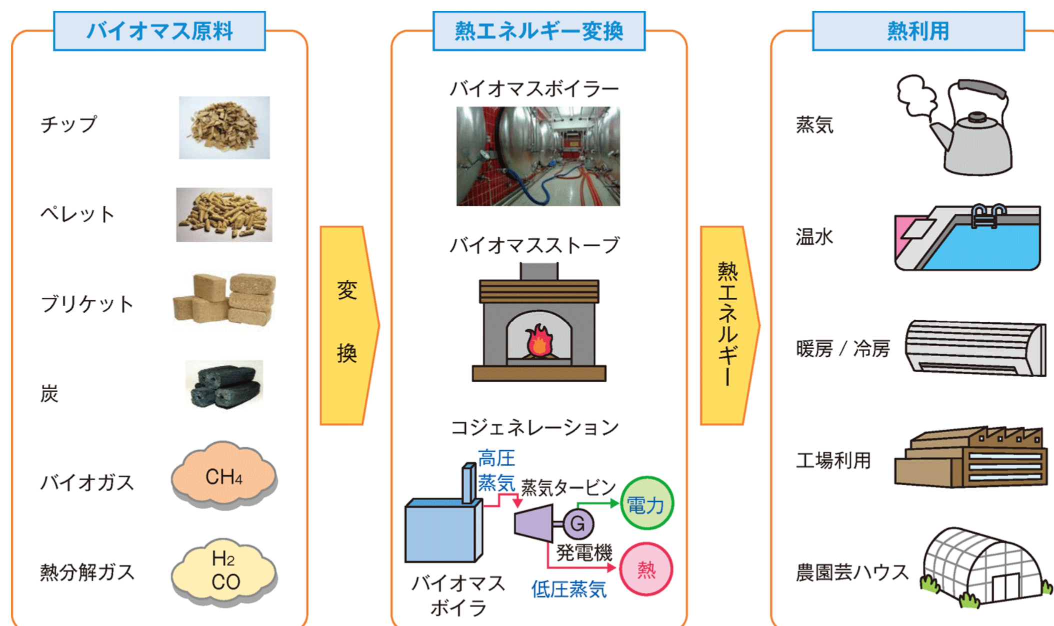


図 4-29　バイオマス熱利用の流れ

1）原料製造技術

固体バイオマス燃料には，木質系バイオマスを加工した薪やチップ，粉砕した後に圧縮成型してペレット化やブリケット化したもの，厨芥類などを原料とした RDF（Refuse Derived Fuel：廃棄物燃料），高含水率バイオマスである下水汚泥を乾燥および成型したバイオソリッドなどがある．次にこれらの製造技術について述べる．ただし，バイオガスと熱分解ガスについては，発電の節で紹介済みのため，ここでは省略する．

i）チップ

チップは，チッパーと呼ばれる加工機で，原料となる間伐材，林地残材，製材工場残材などを破砕して製造する．チップの用途は幅広く，小型ボイラによる地域熱供給から事業用石炭火力発電ボイラでの混焼に用いられる．

ii）ペレット／ブリケット

木質ペレット製造の流れを示したものを**図 4-30** に示す．原料となる廃木材，間伐材などを破砕し，含水率を 10～20％まで下げたのち，造粒機によって高温高圧でペレットに固める．

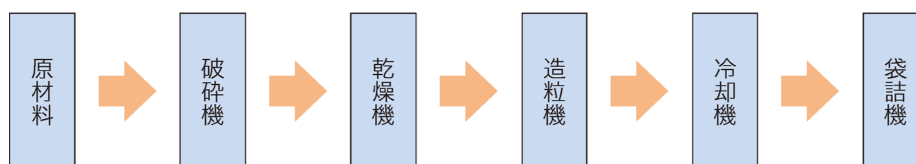


図 4-30　木質ペレットの製造の流れ

薪は家庭用暖房などでの利用が一般的であったが，近年，欧米では高性能小型ボイラが開発され，地域熱供給に用いられる事例もある．

ペレットは，形状，含水率，発熱量を調整できるため扱いやすく，また，運搬コストを低減できることから石炭火力発電ボイラで混焼利用されるなど，利用は拡大している．

iii）炭化／半炭化（低温炭化）

〈炭化〉

一般的によく知られているのが木炭製造である．炭化は，木材，樹皮，竹，もみ殻などを空気（酸素）の供給を遮断または制限して，熱分解によって気体（原料が木材の場合，木ガスという），液体（酢液，タール），固体（炭）の生成物を得る技術である．熱分解の温度は，黒炭で 400～700℃前後，白炭で 800℃以上となる（**図 4-31**）．

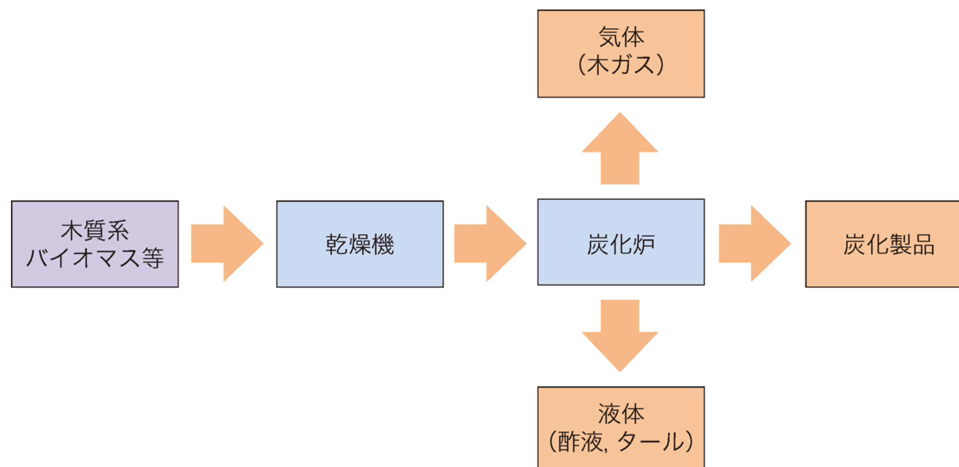


図 4-31　炭化の流れ

炭は暖房や調理用などの燃料の他，活性炭，工業用（二硫化炭素製造など）に利用される．タールは，発熱量が重油の半分程度しかなく高粘度のため，ボイラ燃料に使用される．ガスは加熱用熱源や原料乾燥用熱源などとして利用される．

また, 炭化技術は, 下水汚泥や厨芥類など一般廃棄物の減容化手段としても用いられる. NEDO 事業の「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業／炭化燃料製造実証試験事業」を，電源開発株式会社の松島火力発電所で 2004～2009 年度に実施した．ここでは，一般廃棄物をロータリーキルン式（**表 4-6** 参照）の炭化炉で炭化燃料を製造し，火力発電用燃料として利用可能であることを検証した．**図 4-32** に一般廃棄物炭化燃料製造実証試験システムフローを示す．

炭化技術の実用化として 2012 年 11 月，長崎県西海市の一般廃棄物炭化燃料製造事業が開始された（http://www.jpower.co.jp/news_release/2012/11/news121105_1.html）．施設規模は 30t/日（15t/日×2 系列）で，炭化燃料は西海市内の製塩工場で利用する計画である．

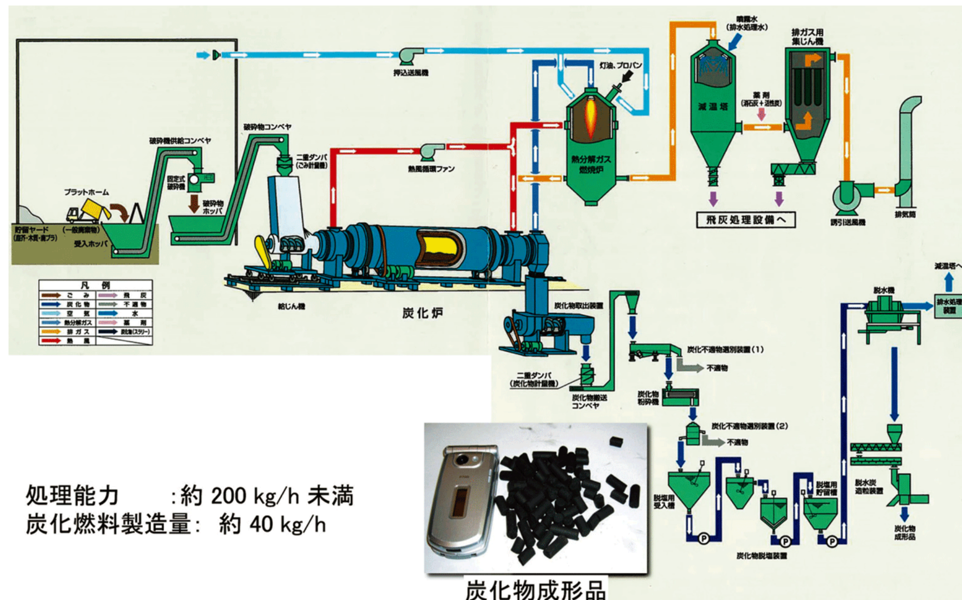


図 4-32　一般廃棄物炭化燃料製造実証試験システムフロー

出典：NEDO「平成 21 年度バイオマスエネルギー関連事業（成果報告会）」予稿集
http://www.nedo.go.jp/content/100086253.pdf

〈半炭化（低温炭化）〉

最近では，半炭化技術（トレファクション）が着目されている．半炭化技術の目的は，木質ペレットと比べてより発熱量を向上させるとともに，耐水性を付与しつつ，木炭製造と比べてより少ないエネルギーで固体バイオマス燃料を製造するところにある．従来の木炭製造は 800℃以上の温度で熱処理しているが，半炭化技術ではより低温度の 250～300℃で熱処理しながらも，木炭の発熱量に比べて 90％の発熱量を得られる特色がある．半炭化技術関連の開発動向としては，木質ペレット製造と組み合わせる取り組みや，バイオコークス製造の取り組みが挙げられる．

下水汚泥の燃料化技術を比較したものが**表 4-31** である．従来の乾燥や炭化と比べて，半炭化（低温炭化）は比較的高カロリーの燃料を得られ，炭化温度も低く製造コストも低く抑えられるので最近注目されている．

表 4-31　下水汚泥燃料化技術の比較

		炭化（炭化温度 600～800℃）		半炭化（炭化温度 250～350℃）		乾燥	
発熱量 MJ/kg-DS (kcal/kg-DS)	未消化	×	11～15 (2,600～3,600)	○	16～19 (4,600～4,500)	○	16～19 (4,000～4,500)
	消化		7～9 (1,700～2,200)		12～15 (3,000～3,500)		12～15 (3,000～3,500)
臭気		○		○	微臭	×	汚泥臭
自然発火性		○	低い	○	低い	○	低い

出典：月島機械 HP　http://www.tsk-g.co.jp/tech/eco-jouge/deido/odei.html より NEDO 作成

広島市西部水資源再生センターに，2012 年 3 月，全国初となる低温炭化汚泥燃料化システムが完成した．製造したバイオマス燃料は，2012 年 4 月から 20 年間，電源開発の竹原火力発電所で全量が石炭代替燃料として使用される．

木質系バイオマスについても，NEDO 事業の「戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（実用化技術開発）／石炭火力微粉炭ボイラに混焼可能な新規バイオマス固形燃料の研究開発」（2011～2012 年度）で開発した．実機試験の結果，20％まで混焼可能であることを確認した．

iv）その他

RDF やバイオソリッドなどの廃棄物系燃料については，いくつか実用化の事例があるものの，RDF では都市ごみを原料とするため，組成にばらつきが出たり塩素が含まれるなど，成分的制約や環境面の制約などから，限られた施設での利用にとどまっている．

2）変換技術

バイオマス原料を熱エネルギーに変換する技術として，バイオマスボイラ，バイオマスストーブ，コージェネレーションについて述べる．

i）バイオマスボイラ

バイオマスボイラは，バイオマス原料を燃焼させ，温水や水蒸気を取り出す装置であり，温泉，園芸用ハウス，工場，ホテルなどへの給湯，製材所などの乾燥用熱源に利用されている．

バイオマスボイラの利用にあたって効果が期待できる技術としては，原料の自動供給装置の有無，完全燃焼の実現性，幅広い含水率を持つチップやペレットへの適用性，灰の取り出し機構などが挙げられる．

図 4-33 は，バイオマスボイラの一例であるが，自動供給装置によって原料となるチップやペレットが燃焼室に送られて燃焼する．二次燃焼室で完全に燃焼した後，熱交換器によって温水が作られ煙突で排気される．

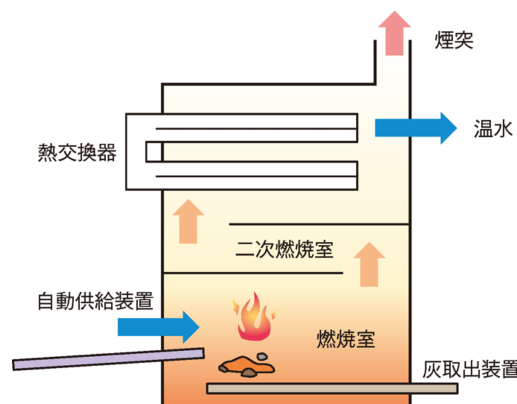


図 4-33　バイオマスボイラの流れ

ii）バイオマスストーブ

バイオマスストーブは，木質ペレットを燃焼させ，暖房として個人用住宅の他に，小中学校や市町村役場などの公共施設で利用されている．

バイオマスストーブの特徴としては，原料の自動供給装置の有無，ペレットやチップを燃焼させるための給排気装置の有無，灰の取り出し機構と日々のメンテナンスの必要性などが挙げられる．**図 4-34** はバイオマスストーブの模式図であるが，原料となるペレットを自動供給装置によって燃焼室に送り出すとともに，吸気装置によって外気を燃焼室に送り込む．着火した後の燃焼状

態は制御装置で制御され，生じる灰は灰取出機構で取り出される．排気は屋外に出される．

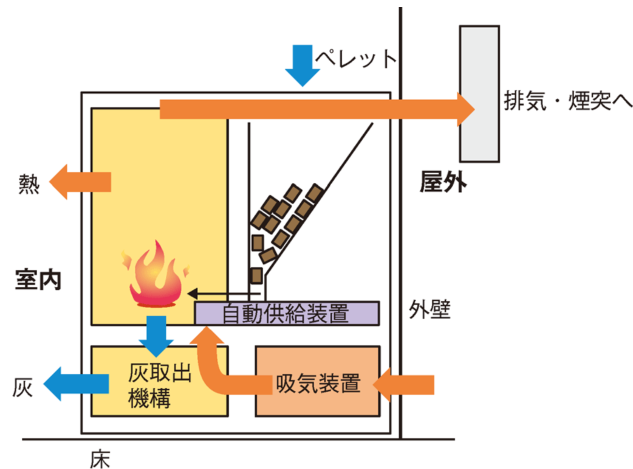


図 4-34　バイオマスストーブの流れ

iii）コージェネレーション

バイオマスを原料とするコージェネレーションは, 発電とともに熱を得るために使われており，主に発電所，下水処理施設，家畜排せつ物処理施設などで利用されている．

コージェネレーションを行う場合には，バイオマスを直接燃焼させるケースと，バイオマス原料を熱分解して得られる熱分解ガスを原料とするケース，さらには家畜排せつ物，厨芥類，埋立処分場から得られるバイオガスを原料とするケースがある（**図 4-35**）．

バイオマスを直接燃焼させる場合には，木質系バイオマス，鶏ふんなど，比較的乾燥している原料を燃焼させた後，高圧蒸気を蒸気タービンに送って低圧蒸気と電力を得る．バイオガスを燃料とする場合には，ガスエンジンもしくはマイクロガスタービンに送って，電力，蒸気，温水を得る．

コージェネレーションについては，これまで高効率化の取り組みが行われてきている．なお，バイオマスを原料とするコージェネレーションの要素技術については，4.2.5（2）2）「ガスエンジン」，4.2.5（3）2）「バイオガス用のガスエンジン，マイクロガスタービン」を参照．

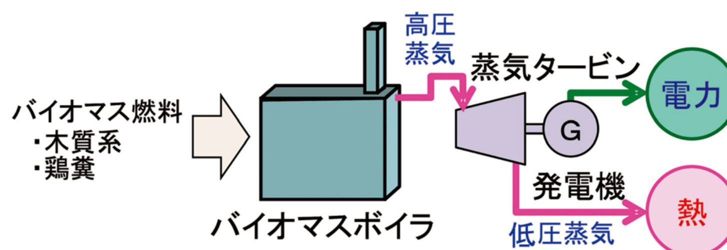


図 4-35　コージェネレーションの流れ

（2）バイオマス熱利用コスト

1） 海外

REN21 によれば，バイオマスの燃焼による熱供給コストとして，プラントサイズが 1,000～20,000 kW$_{th}$ の規模であれば，1～6 US セント/kWh となるとされている．

また，IEA で，バイオマスの熱利用に関する単位熱量当たりのコストが示されている．プラントのサイズが 5～30,00 kW$_{th}$ の規模の建設単価，熱量単価は**表 4-32** のとおりである．

表 4-32 バイオマス熱利用のコスト

プラントの規模	建設単価	熱量単価
5 ～ 30,000 kW$_{th}$	300～1,200 ドル /kW$_{th}$ (24,000～96,000 円 /kW$_{th}$)	15～77 ドル /GJ (1,200～6,160 円 /GJ)

出典：“Deploying Renewables 2011”（2011，IEA）より NEDO 作成

2） 日本

間伐材や製材くずなどを加工した木質ペレットの価格を**表 4-33** に示す．

木質ペレットは家庭用と産業用ともに利用されているが，石油，ガス，電気と比較して使い勝手がよくないこと，ペレットを扱う製品の価格が重油ボイラや灯油ストーブと比べて高いことから，需要が小さいのが現状である．そのため，木質ペレット製造の規模の拡大も限定的となっている．

木質ペレットの利用については，温度制御の自動化やボイラ燃焼室へのペレット供給の自動化，灰搬出の簡易化などが盛り込まれた利用機器が欧米で開発され，日本でもようやく普及し始めている状況である．

表 4-33 木質ペレット燃料の製造事例・販売価格

用途	種類	ペレット販売単価[円 /kg]（H21 年下期）		
		高値	中値	低値
ストーブ燃料向け	バーク	50	45	30
	ホワイト	45	41	39
	全木	44	42	35
ボイラ燃料向け	バーク	31	23	23
	ホワイト	39	34	34
	全木	38	37	33

注：バークは樹皮を主体としたペレットであり，ホワイトは，樹皮を含まない木質部を主体としたペレットのこと．
出典：一般社団法人 日本木質ペレット協会 資料より NEDO 作成

チップ化コストについては，岡山県真庭地域での地域システム化実験事業の中で，低質材のチップ化に要するコストが一例として示されている（**表 4-34**）．

表 4-34 チップ化コストの内訳

	労務	グラップル 60	チッパー	重機軽油	チッパー軽油	管理費	合計
数量	2.0 人	1.5 h	6.0 h	25.0 L	50.0 L	1 式	
金額（円 /t）	2,000	500	1,200	188	375	1,000	5,263

出典：「バイオマスエネルギー地域システム化実験事業成果報告会資料」（2010，NEDO）

REN21 によれば，2008 年，世界全体で 11,600PJ の熱量が近代的なバイオマスとして使われている．

近代的なバイオマスとは，英語では「modern biomass」と表現され，バイオマスを変換して電力，熱，燃料を製造するために使われるバイオマスを意味する．一方，それに対する表現が伝統的なバイオマス（traditional biomass）であり，古くから行われている薪利用が中心となる．

「Deploying Renewables 2011」には，主要な地域のバイオマス熱利用の実績量の推移が示されている（**図 4-36**）．

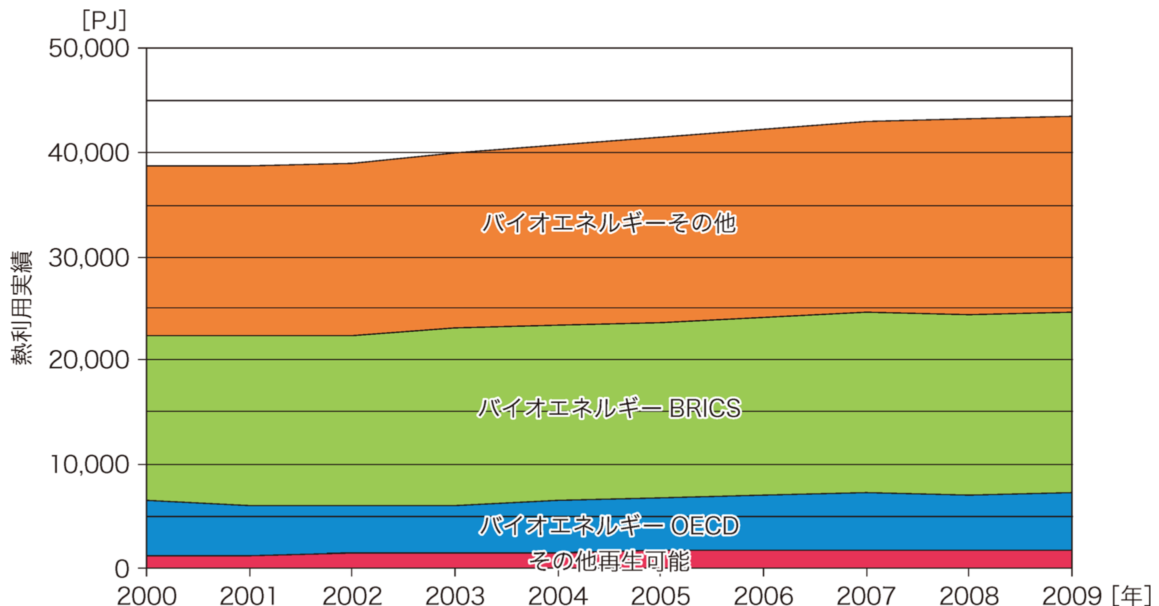


図 4-36　世界のバイオマス熱利用の実績量推移

出典：“Deploying Renewables 2011”（2011，IEA）より NEDO 作成

OECD 加盟国のバイオマス熱利用の実績の推移を**表 4-35** に示す．厨芥類，固体バイオマス燃料，バイオガスによる熱利用は，1995 年時点から 2009 年時点まで，2～3 倍に近い伸び率を示しているのに対して，液体バイオ燃料の熱利用の伸びはそこまでには達していない．

表 4-35　OECD 加盟国のバイオマス熱利用の実績量推移

	1995 年	2000 年	2007 年	2008 年	2009 年
一般廃棄物（再生可能資源由来）	51.5	63.5	93.5	101.8	104.5
固体バイオマス燃料	96.4	123.3	235.2	249.8	259.5
バイオガス	5.7	10.2	14.3	13.6	14.1
液体バイオ燃料	－	－	5.2	4.2	7.8

出典：“Renewables Information”（2011，IEA）より NEDO 作成

（3）欧州

EU では，ドイツ，デンマーク，フィンランド，イタリア，スウェーデンなどで熱需要が大きく，フィンランド，スウェーデンなど北欧地域では地域熱供給網に熱が供給されている．

図 4-37 は，地域熱供給網に供給された固形バイオマス燃料の燃焼による熱量を示している．

EU 全体では 2009 年，固体バイオマス燃料によって，5,473 ktoe（石油換算キロトン）の熱量が供給されている．特にスウェーデン，フィンランド，デンマーク，オーストリア，ドイツなどが主要な国々になる．

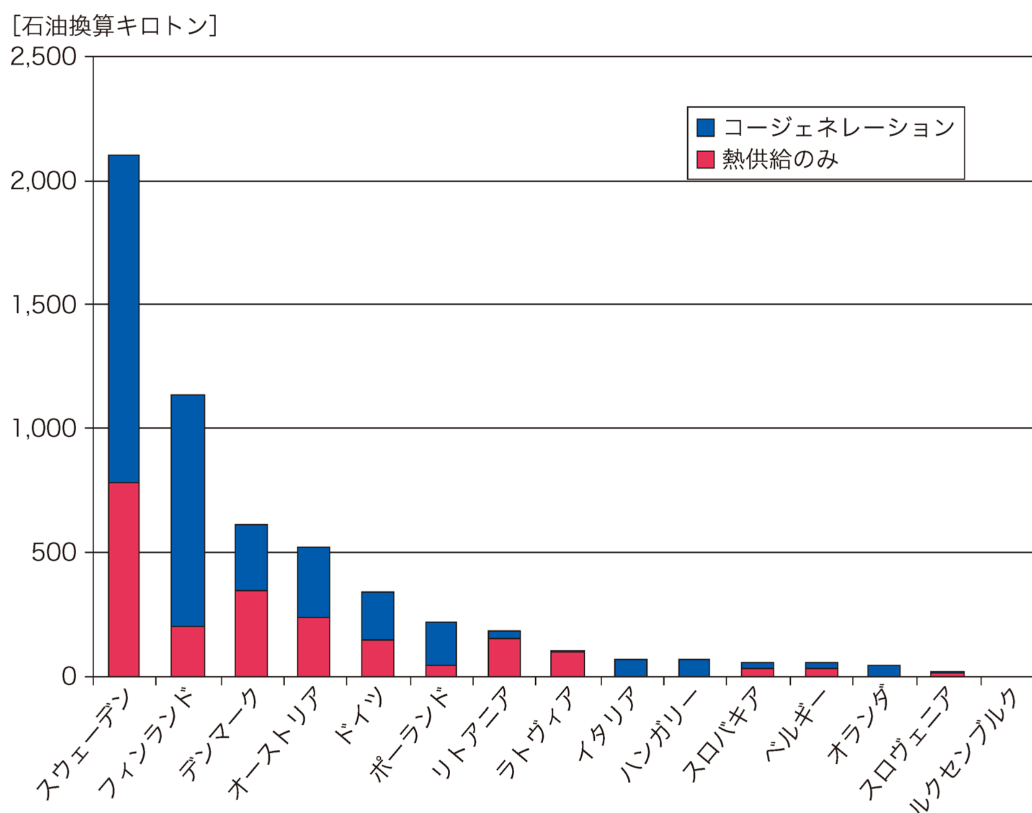


図 4-37 地域熱供給事業にて活用される固体バイオマス燃料

出典：“Solid Biomass barometer”（2010，EurObserv’ER）

図 4-38 は，地域熱供給網に供給されたバイオガスのエネルギー量を示しており，ドイツ，デンマーク，フィンランド，ポーランド，イタリア，スウェーデンが主要な国々である．EU 全体では，173.8 ktoe（石油換算キロトン）の熱量が供給されている．

総熱量に対するバイオマス由来の発熱量の割合を**図 4-39** に示す．バイオマス割合が高い国は，ルクセンブルク，オーストリアが挙げられる．

1）スウェーデン

エネルギー供給の 18%が，木質系バイオマスや黒液を中心とするバイオマスエネルギーによるものである．木材産業や地域熱供給事業で，木質系バイオマスを利用したチップボイラやコージェネレーション施設が利用されている．家庭でのペレットストーブ導入も増加している．

家畜ふん尿，家庭からの厨芥類を原料とした大型のメタン発酵施設も多数稼動しており，得られるバイオガスは自動車用燃料やコージェネレーション施設の燃料として利用されている．スウェーデンでは，既存の下水処理施設や廃棄物処理施設に併設する形で，家畜ふん尿のメタン発酵プラントを導入してきた経緯がある．

熱利用を促進するための政策として，税制優遇が行われている．これまで暖房用と輸送用燃料のバイオガスは，一般エネルギー税と炭素税の 2 つが免税扱いになっていたが，この免税を廃止し，生産工場ごとの税額控除による優遇措置に変更された．

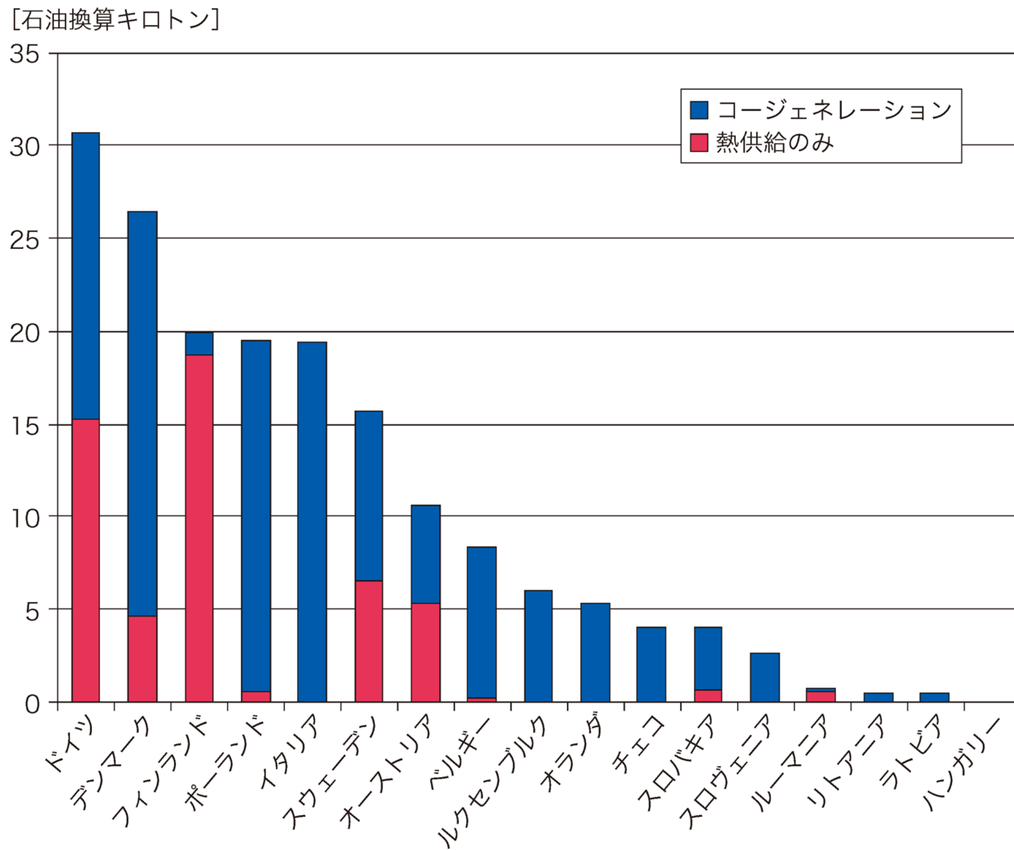


図 4-38　地域熱供給事業にて活用されるバイオガス

出典：“Solid Biomass barometer”（2010，EurObserv’ER）

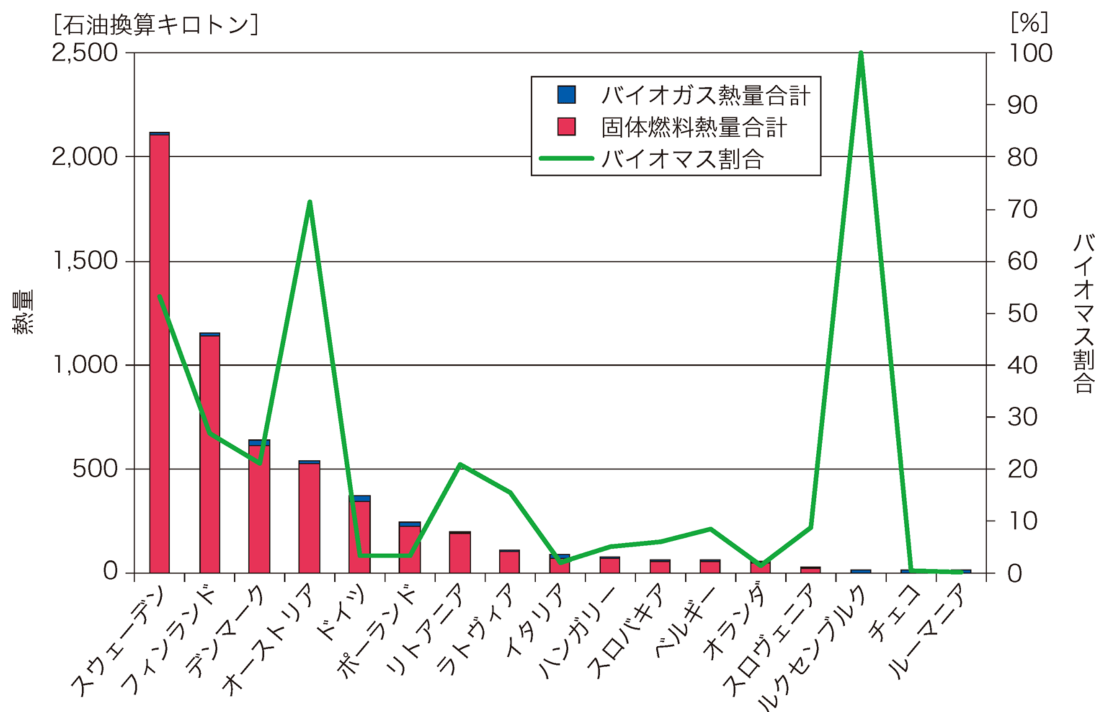


図 4-39　総熱量に占めるバイオマス由来の熱量の割合

出典：“Solid biomass barometer”（2010，EurObserv’ER），“Biogas barometer”（2010，EurObserv’ER），“Electricity Information”（2011，IEA）より NEDO 作成

2）フィンランド

熱利用を推進する政策としては，コージェネレーション施設でのバイオマス活用を促進するため，変動価格制の FIT が導入されている．コージェネレーション施設の目標価格が 1MWh あたり 83.5 ユーロとされているが，木質系バイオマスを原料にするとさらに 20 ユーロ（小規模施設に限定），バイオガスを原料とするとさらに 50 ユーロを上乗せした目標価格を設定している．

3）デンマーク

家庭などから排出される廃棄物を用いたエネルギー回収が積極的に行われており，コージェネレーション施設によって発電や地域熱供給が行われている．また，林業系の木質系バイオマスや農業残渣も利用されている．

また，家畜ふん尿や厨芥類のメタン発酵も盛んである．これらの大半は，地域の酪農家などの共同出資で設立された事業体による大規模な集中型混合消化施設でメタン発酵され，主にコージェネレーション施設の燃料として利用されている．さらに，天然ガス供給網に供給される精製バイオガスの優遇買取価格も設定された．

4）オーストリア

熱電併給法によって, 2012 年までに許認可を受けたコージェネレーション施設の建設費用の最大 10%を補助する制度の他に，環境促進法による国内環境促進令が出されており，バイオマスを使用するボイラ，コージェネレーション施設，発熱施設を設置する事業者への補助金の拠出，地域熱供給網にバイオマス発熱施設から接続するための工事費用の補助が行われている．

5）ドイツ

廃材などの木質系バイオマスが，地域熱供給や家庭内暖房に利用されている．近年の再生可能エネルギー法の改正によるバイオマス由来電力の買取価格増額や対象拡大によって，大規模なコージェネレーション施設の導入も増加している．また，2009 年から新築建物の所有者に対し，再生可能エネルギーによる暖房が義務付けられるため，バイオマスを利用した暖房のさらなる普及が見込まれる．

また, 近年, エネルギー作物などをメタン発酵利用する小規模分散型のプラントの導入が進み, バイオガスの生産は EU 最大となった．固定価格で買い取られる発電利用に加え，精製されたバイオガスの天然ガス供給網への注入に関する法律が制定された．

熱利用を促進するための支援としては，小規模バイオガス発熱プラントへの低利融資が 2011 年から追加されている．

（4）日本

バイオマスによる熱利用の内訳を示す．バイオマス熱利用の実績値は 170.9 万 kL（44PJ）である（**図 4-40**）．

熱利用に関しては一般廃棄物が 31.5%，製紙廃棄物ガ 17.5%，その他 33%などでバガスや家畜排せつ物，下水汚泥などバイオマスの割合は低い．

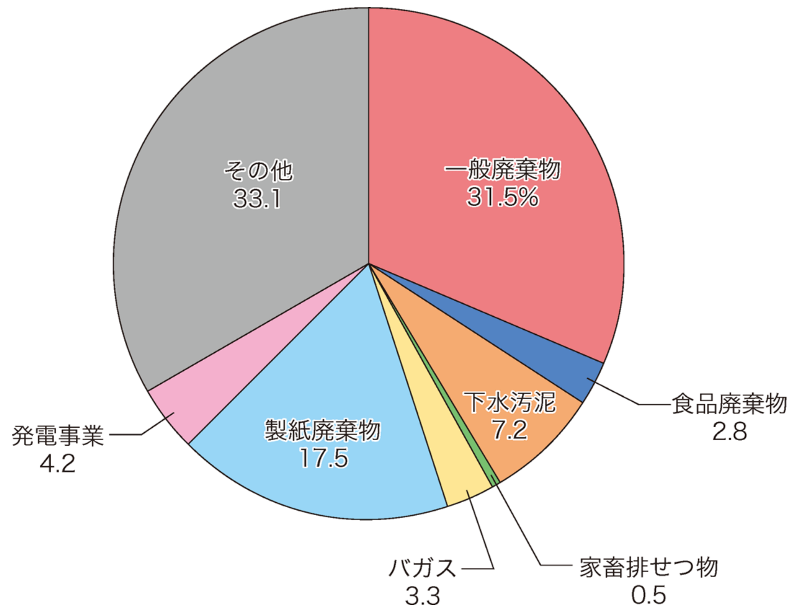


図 4-40　バイオマスエネルギー熱利用の利用実態（熱利用量の内訳）

注：一般廃棄物中のバイオマス分のみをバイオマスエネルギーとして計上している．
出典：資源エネルギー庁資料（2012）

4.3.2 世界の市場動向

バイオマスの熱需要についてはここまで，近代的なバイオマスを中心として取り上げてきたが，現在，伝統的なバイオマスの利用方法が中心となる途上国では，屋内で薪を使って調理する主婦の健康問題や，原料を収集する子供の負担が問題とされている．ここでは伝統的なバイオマス利用を取り上げる．

1）近代的なバイオマス

IEA によれば，産業分野のバイオマスの熱利用について，2008 年の約 8,000PJ から 2035 年の約 14,000PJ になると予測している．なお，バイオマス熱利用の割合が大きい特定の産業部門ごとに，2008 年の現状と 2035 年の予測値を示した．特に製紙，パルプ産業での需要が大きい（**図 4-41**）．

2）伝統的なバイオマス

IEA によれば，薪などの伝統的なバイオマス利用について，中国での利用が低減していくため，全体需要は 2008 年の約 31,000PJ（746Mtoe）から，2035 年には約 30,000PJ（720Mtoe）になると予想している．中国では，燃焼効率の悪いかまどから，高効率のストーブかバイオガスに移行すると見られるため，2008 年の約 8,000PJ（200Mtoe）から 2035 年の約 5,000PJ（120Mtoe）まで減少するとされている．2035 年のアフリカの需要は，約 13,000PJ（300Mtoe）まで上昇する（**図 4-42**）．

途上国での伝統的なバイオマスの利用については，屋内での薪のかまど利用が主婦に健康被害をもたらし，子供たちの原料収集に負担を掛けるため，家畜排せつ物や厨芥類を活用してバイオガスを得る簡易型メタン発酵槽の利用や，改良かまどに転換していく傾向にある．

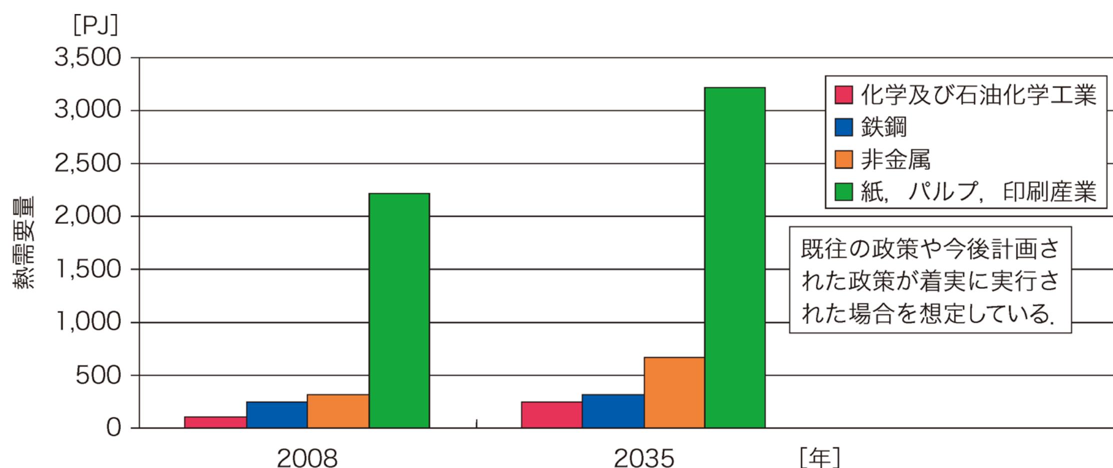


図 4-41　特定の産業部門の近代的なバイオマスの熱需要予測（New Policies Scenario）

出典：“World Energy Outlook 2010”（2010，EA）

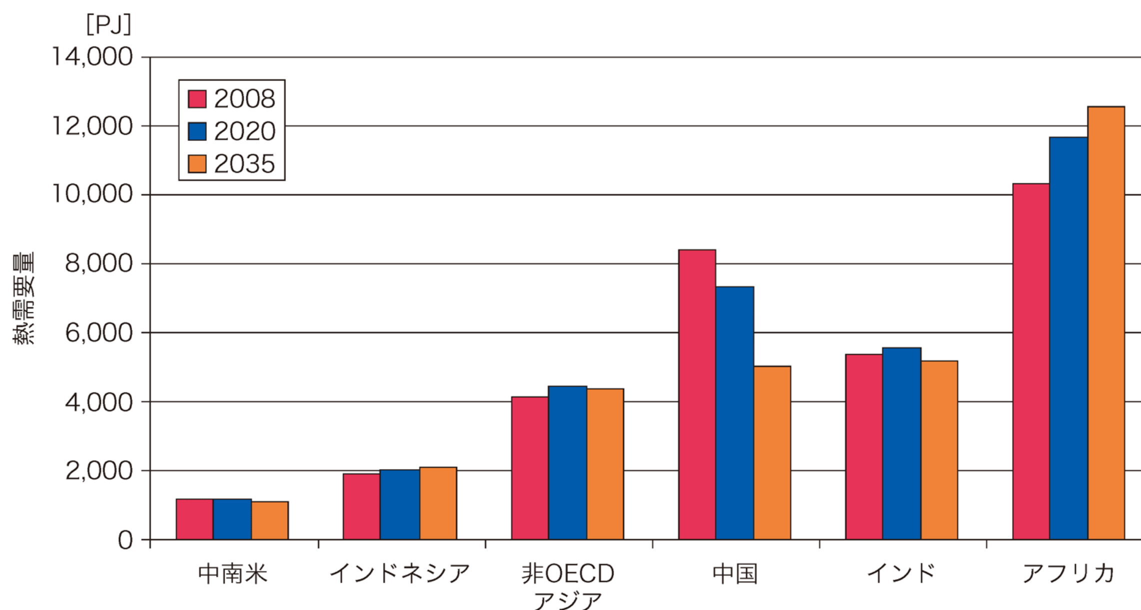


図 4-42　伝統的なバイオマスの熱需要予測（New Policies Scenario）

出典：“World Energy Outlook 2010”（2010，IEA）

3）木質ペレットの規格化

ペレット使用機器の設計を効率化するため，欧州の一部では木質ペレットについて国家的な統一基準が作成されている.

日本では，「一般社団法人 日本木質ペレット協会」によって，2011 年 3 月 31 日に木質ペレット品質規格が定められた．木質ペレットの規格が定まったことによって，この規格に対応するペレタイザー，ペレットボイラ，ペレットストーブなどの技術開発が進み，新製品が登場していくことが期待される.

4.3.3 各国の技術開発動向

熱利用に関する技術課題を，原料製造技術と変換技術に分けて整理する．原料製造に関する課題として，チップやペレットの原料が多様化（樹皮ペレット使用，全木ペレット使用）しつつあり，幅のある含水率にも対応できる製造技術，製造コストの低減，および現場利用できる製造機の開発などが挙げられる．また，炭化や半炭化については，炭素成分をできるだけ高めつつ，いかに製造に要するエネルギーを低減するかが課題となっている．

バイオマスボイラやバイオマスストーブに関しては，装置の小型化，原料の自動供給，灰の取出機構など装置の用件に関する課題の他に，原料によって幅のある含水率に対応した完全燃焼と高い熱効率を実現するための課題がある．バイオマス由来のガスを扱うコージェネレーションについて，コージェネレーションそのものの技術は長年の技術開発を経て高効率化を実現できているが，バイオマスを原料とすることによる出力変動への対応や熱需要の確保といった課題などがある（**表 4-36**）.

表 4-36　バイオマス熱利用での変換技術に関連する主要な技術課題

技術	原料	技術面の課題
チップ製造	木質系バイオマス	・原料の多様化に対応する技術 ・幅のある含水率，灰分への対応 ・製造コストの低減化 ・安定的な原材料供給の実現 ・製造設備の改良 ・現場で活用できる移動型のチップ製造機の開発
ペレット／ブリケット製造	木質系バイオマス	・原料の多様化 ・幅のある含水率，灰分への対応 ・製造コストの低減化 ・安定的な原材料供給の実現 ・製造設備の改良 ・現場で活用できる移動型のペレット製造機の開発
炭化／半炭化	木質系バイオマス，下水汚泥，厨芥類，家畜排せつ物	・炭素含有率を高めたままの炭化方法の確率 ・生成物の安定化，高品質化 ・安定的な原材料供給の実現 ・投入エネルギーの省エネルギー化 ・安定運転の実現 ・ブランド化，高付加価値化

出典：NEDO 作成資料

（1）欧州

欧州の FP6 と FP7 のバイオマス熱利用関連のプロジェクト概要を**表 4-37** に示す．発電と合わせての熱利用を取り上げたテーマが多いが，熱供給システムを取り上げたものもある．

表 4-37　FP6,FP7 のバイオマス熱利用に関するプロジェクト（EU 委員会）

タイトル	概要	EU 委員会予算［ユーロ］	期間
ENERCOM	下水汚泥，農業残さから発電，熱，固体燃料，コンポスト製造を行う．	2,528,834	2008 年 11 月～2011 年 10 月
ENERFISH	水産加工場でのバイオディーゼル製造．用途として 0.3 MW の冷蔵，2.8 MW の暖房，2 MW の余剰電力の販売．	2,944,794	2008 年 10 月～2011 年 10 月
DOMOHEAT	農業系，森林系，製材系のバイオマスを使った 60 kW，100 kW サイズの熱供給システムの実証	950,340	2007 年 5 月～2011 年 5 月
BICEPS	バイオガスによる発電，暖房，冷蔵を実証．燃料電池との併用．	6,975,095	2007 年 1 月～2011 年 10 月
NEXTGENBIOWASTE	電力と熱を作るバイオマス燃焼施設における発電効率の向上，信頼性，パフォーマンス，環境コンプライアンスを改善するための研究	11,532,000	2006 年 2 月～2010 年 2 月

出典：各種資料より NEDO 作成

欧州の技術開発の事例として，オーストリアの小規模の木質系バイオマス燃焼装置について，ここ 20 年ほどで効率が 50%から 90%以上まで上昇している．また，完全燃焼に向けた技術開発が行われ，一酸化炭素の排出量が減少している（**図 4-43**）．

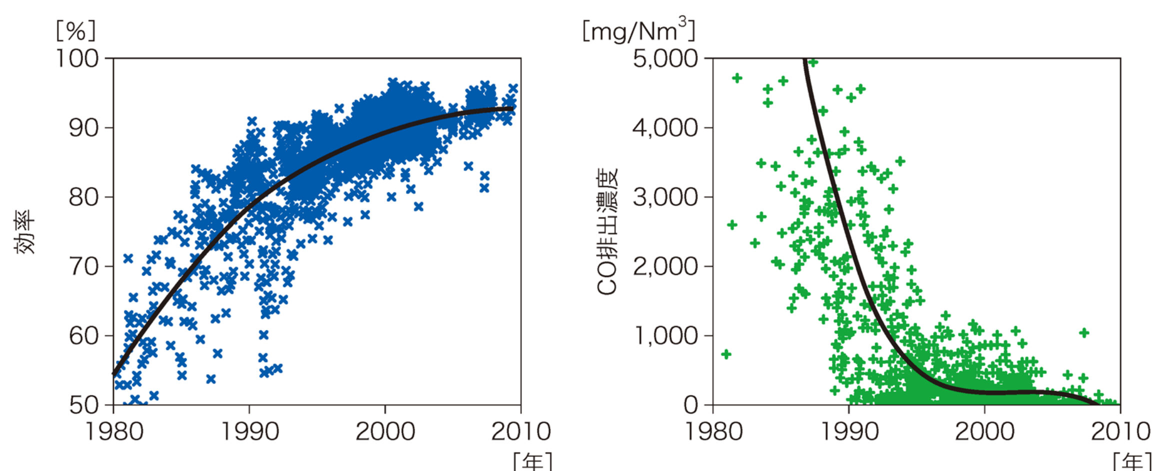


図 4-43　オーストリアの小型木質バイオマスボイラの技術開発の例

出典：Central European Biomass Conference 2011（Markus Schwarz 他）資料

（2）米国

米国のバイオマス熱利用に関して Biomass Thermal Energy Council（非営利団体）が，バイオマス熱利用の普及を進めるために，ボイラの基準作りや税制要望などの活動を行う一方，普及活動の一環としてバイオマス熱利用に関連する技術開発テーマを整理している．

木質系バイオマスの前処理技術の分野では，ペレット製造に関する研究開発として，米国の木質ペレットが欧州に輸出されており，欧州の基準に合わせるための，ペレット製造時の結合材利用に関する研究，ペレット燃焼時の灰分含有量に関する研究，輸送時のペレットの耐久性に関する研究が技術開発の焦点とされている．

（3）日本

NEDO では「地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業」「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業」で，バイオマス熱利用に関する研究開発が行われてきた（**表 4-38**）.

直接燃焼による熱利用の研究開発テーマとして，熱源としてバイオマスボイラを導入するもの，原材料の乾燥熱源として活用するもの，含水率の高い原材料を扱うもの，原材料の自動供給を扱うものが挙げられる.

メタン発酵の熱利用の研究開発テーマとして，食品工場内の熱源として活用するもの，隣接する工場の熱源として活用するものが挙げられる.

表 4-38　NEDO のバイオマス熱利用に関する研究開発の事例

分類	研究テーマ	研究テーマの概要	関係機関	事業期間
直接燃焼	クリーニング工場における木質バイオマス熱利用フィールドテスト事業	チップ，バーク等を木質ボイラで直接燃焼させ生成した蒸気をクリーニングドライヤーの熱源として利用する.	北海道健誠社，NERC	2006～2008 年度
直接燃焼	プロセス蒸気利用工場における木質バイオマス熱利用フィールドテスト事業	現在稼働中のクリーニング工場に含水率 60 %でも対応可能な生チップボイラを導入する.	マルセンクリーニング，北海道日建設計	2006～2008 年度
直接燃焼	含水率を制御した木質バイオマス燃料を使用する高効率直接燃焼による熱利用の実証事業	燃料の自動供給を含めたボイラの自動運転とボイラ排熱による原料の含水率低下を目的とした実証事業である.	銘建工業	2006～2008 年度
直接燃焼	多形状木質バイオマスによる飲料製造プラントへの熱供給事業	製材工場端材，樹皮，林地残材を原料として直接燃焼ボイラに自動供給して，発生する蒸気を隣接する飲料製造プラントに供給する.	古屋製材	2006～2008 年度
直接燃焼	津山市木質バイオマス燃料ボイラー実用化システム検討事業	津山市が管理する温泉施設に灯油ボイラに代わる木質チップボイラを導入する.	岡山県津山市	2006～2008 年度
直接燃焼	ヒノキの樹皮を主燃料として使用する高効率な直接燃焼による熱利用の実証試験事業	製材工場から出るヒノキの樹皮を木質系バイマスボイラで直接燃焼させ，蒸気を製造してその排熱を木材人工乾燥機に投入する.	かつら木材商店	2006～2008 年度
直接燃焼	木屑燃焼熱利用木材乾燥事業	木製パレット工場の灯油ボイラを木質バイオマスボイラに転換して，木材乾燥に用いる.	山室木材工業	2007～2010 年度
直接燃焼	食品工場における多種類バイオマスの最適な複合利用による熱供給事業	乳製品由来のバイオガスとともに，コーヒーかす，メタン発酵残さを原料として，バイオマスボイラに投入する.	森永乳業，エネルギーアドバンス	2007～2010 年度

分類	研究テーマ	研究テーマの概要	関係機関	事業期間
直接燃焼	木質繊維断熱材製造工場におけるバーク熱利用フィールドテスト事業	木質繊維断熱材のプロセス熱源として，バークボイラを導入した.	木の繊維	2007 ～2010 年度
メタン発酵	食品加工残さバイオガス熱エネルギー供給事業	じゃがいもを主原料とする加工残さからのメタンガスを同じ敷地内のガス焚蒸気ボイラで熱エネルギーに転換し，食品加工場の熱源に活用する.	JA 士幌町	2006 ～2008 年度
メタン発酵	焼酎蒸留廃液のバイオガス化による焼酎製造工程での熱利用十諸事業	焼酎粕をメタン発酵させて得られたバイオガスを蒸気ボイラで熱回収を行った後，焼酎製造工程の冷熱に使用．余剰熱を温水として蓄積し，昼間の蒸気ボイラの顕熱源として活用する.	田苑酒造	2006 ～2008 年度
メタン発酵	焼酎粕のメタン発酵処理による工場内 24 時間熱供給実証事業	焼酎粕をメタン発酵設備によりバイオガスを生成し，バイオガス焚き蒸気ボイラで熱回収を行う．昼間は蒸気のまま利用し，夜間は軟水を過熱し，昼間に利用する.	山元酒造	2006 ～2008 年度
メタン発酵	食品残さ，畜糞等の嫌気性脱室，乾式メタン二段発酵システムによる溶融亜鉛メッキ用加熱炉へのバイオガス供給事業	食品残さ，畜ふん（採卵鶏）を原料として，消化液の少ない乾式メタン発酵を行い，メタンガスを隣接する溶融亜鉛メッキ炉の燃料として使用する.	日立エンジニアリング・アンド・サービス，大森工業	2007 ～2009 年度
メタン発酵	焼酎粕のアルカリ水素メタン発酵によるエネルギー回収技術に関する実証試験事業	焼酎粕を水素発酵，メタン発酵させ，得られたバイオガスを蒸気ボイラによって蒸気に変換し，焼酎製造工場内での蒸留工程などに利用する.	タクマ	2005 ～2009 年度
メタン発酵	乳製品製造工程における食品残さのメタン発酵システム実証試験事業	乳製品廃棄物および排水処理施設の脱水汚泥を地下設置式発酵槽によりバイオガスを発生させ，蒸気ボイラの稼動により熱エネルギーを回収する.	やまぐち県酪農乳業，コブロス	2005 ～2009 年度
メタン発酵	小型高速メタン発酵システムによる食品バイオマスエネルギー化実証試験事業	廃乳製品を原料として従来技術の半分程度の滞留日数の高速メタン発酵設備により，バイオガスを発生させ，蒸気ボイラで熱回収し，工場内の熱需要に活用する.	明治乳業，富士電機システムズ	2005 ～2009 年度

出典：NEDO 作成資料

4.3.4 世界のビジネス動向

（1）ペレットボイラ，チップボイラ

1）欧州

熱利用に関連する海外メーカーの取り組み動向の例として，欧州のペレットおよびチップボイラメーカーの動向例を**表 4-39** に示す. 日本のペレットおよびチップボイラメーカーが製造している製品の出力規模と比べてみると，総じて日本のメーカーの製品よりも出力規模が大きく，MW 規模の製品も扱われているが，地域で活用されやすい数十 kW 規模の製品も販売されている.

表 4-39　欧州のペレット，チップボイラメーカーの取り組み例

国名	メーカー名	取組み概要
英国	Ashwell Biomass Ltd	・15～10,000 kW までの規模のバイオマスボイラ（家庭用，業務用，商業用）を提供している.
	Bioenergy Technology	・3～6 MW までの規模のペレットボイラ，木質チップと組み合わせたボイラを提供している.
	Farm 2000/Teisen Products	・木質チップ，木質ペレット，穀物，おがくず等を利用するボイラを提供しており，水分率 45 %までの全サイズの木質チップを利用可能である. 提供しているボイラの規模は 10～120kW である.
	Talbott's Biomass Heating	・英国の主要なバイオ燃料専門社の一つであり，鍬入れ式の新技術をボイラに組み込んでいる.
ドイツ	Kuenzel	・10～20 kW の規模の世帯向けから中規模の商業施設，事務所向けのペレットボイラや，業務用のペレット貯蔵・給送装置などを提供している.
	Froeling	・8～100 kW 規模の一貫自動ペレットボイラなどを提供している.
デンマーク	P&H Energy	・木質ペレット，木質チップ専用の自動給炭機を提供しており，その規模は 12～100 kW である. 600 kW 規模の業務用ボイラの提供も行っている.
	Lin-Ka Energy	・農業・産業用のプラント開発を専門としており，2011 年 5 月にノルウェーで 5MW 規模のペレットプラントを建設した.
	Passat Energi	・15～90 kW のペレットボイラや 140～1,165 kW の大型ボイラを提供している.
	Hollenson	・わら，廃材，木質ペレット専用の 400～15,000 kW 規模のバイオマスボイラプラント開発を専門にしている.
スウェーデン	Janfire	・家庭用・大規模不動産用のペレットバーナ，ペレットボイラなどを提供している.
	PELLX	・円筒型蓄積タンクと 10～20 kW のペレットバーナが備え付けられたバイオゾルボイラを開発している.
	Ulma AB	・20 kW 規模程度のペレットボイラの開発を行っている.
スイス	Schemitt Enertec	・チップボイラ，ペレットボイラを製造しており，日本国内での納入実績も多数ある. 出力規模は 10～5,500kW までである.
オーストリア	Binder	・100～10,000 kW 規模のバイオマス燃焼装置の開発をはじめとしたサービスを提供している.
	KWB	・15～100 kW 規模のペレットヒーティングシステムを提供している.
	Polytechnik	・300～30,000 kW の出力規模のボイラを地域熱供給向けに提供しており，これまでに 2500 以上の熱供給プラントが導入されている.
	ETA Heinztechnik	・20～200 kW の木質チップ用ボイラ，35～90 kW のチップボイラ，省スペース型家庭向けの 35 kW 未満のペレットボイラなどを販売している.

国名	メーカー名	取組み概要
フィンランド	Veljekset Ala Talkkari	・戸建・集合住宅・業務用ビルを対象とした 30～700 kW 規模のセントラルヒーティングボイラや 30～990 kW 規模の固定燃料バイオ給炭機を提供している．
イタリア	CALUX Srl	・20，25 kW 規模のペレットボイラの開発を行っている．その他，6 kW 規模程度の小型ペレットストーブの開発も行っている．

出典：NEDO 作成資料

2）国内

i）ペレットボイラ

ペレットボイラについては，公共施設や教育施設などへの導入の他に，施設園芸の際の熱源用として導入されることも多い．ペレットボイラとペレットストーブの両方を手がけているメーカーもある．また，タカハシキカンとトモエテクノでは，木質チップボイラも製造している（**表 4-40**）．

表 4-40　国内の主要なペレットボイラメーカーの取り組み

メーカー名	取組み概要
二光エンジニアリング	・木質ペレットを原料とするボイラを販売．これまでに医療・福祉施設，公共施設，事務所・工場，宿泊施設，温水プールなどに平成 13 年以降，121 台納入している．出力範囲：116～580 kW
トモエテクノ	・温水ボイラ，蒸気ボイラ，薪焚ボイラなどを販売．出力範囲：30～5,000 kW
矢崎総業	・施設園芸ハウスの暖房用として木質ペレット焚ボイラを販売．最大出力：116 kW
ネポン	・施設園芸用温風暖房機を販売．45 年の歴史があり，累計 30 万台を納品．出力：116 kW
金子農機	・温水ボイラを温浴施設向けに，温風ボイラを施設園芸向けに販売している．出力範囲：116.3～584.1 kW

出典：NEDO 作成資料

ii）チップボイラ

チップボイラメーカーについては，オヤマダエンジニアリングとウベテクノエンジなどが挙げられる他，4.2「バイオマス発電」の節でも触れたヒラカワガイダムなどのメーカーでもチップボイラへの取り組みを行っている（**表 4-41**）．

表 4-41　国内の主要なチップボイラメーカーの取り組み

メーカー名	取組み概要
オヤマダエンジニアリング	・出力規模：30～200 kW のチップボイラを販売しており，小学校，温浴施設等に導入されている．
ウベテクノエンジ	・UMF-SS という未乾燥木質チップを対象としたボイラを販売．20 フィートコンテナに内蔵可能．
ヒラカワガイダム（再掲）	・出力規模：100 kW～540 kW ・世界で 1000 を越えるシステム稼働実績を有する．無圧温水式ボイラで，バーナーコントロール機能，自動灰出し機構などを有する PYROT という製品を出している．
タカハシキカン（再掲）	・木くず焚ボイラ KT-H 型が発電用であり，マレーシア，中国，シベリアに輸出実績あり．

出典：NEDO 作成資料

3）今後の動向

欧州では，地域での熱需要が今後も継続していくものと考えられ，ペレットボイラとチップボイラの需要は伸びていくものと考えられる．欧州では，再生可能エネルギーの利用を推進する傾向があり，既存のプラントからバイオマス資源を原料とするプラントに切り替わっていくことから，今後の更新需要も期待される．

国内でも，再生可能エネルギーの利用を推進する流れとともに，最近はその中でも特に身近な存在である木質バイオマスの熱利用が注目されていることから，ペレットボイラ，チップボイラの導入は，公共施設，宿泊施設，および施設園芸で進んでいくものと期待される．

（2）ペレットミル

1）海外

ペレットミルについては，北米，ドイツのメーカーによる製品が普及している（**表 4-42**）.

表 4-42　海外の主要なペレットミル関連メーカーの取り組み例

メーカー名	取組み概要
California Pellet Mill（米国）	・24 時間の運転が可能なペレタイザーを提供している．製造能力は 0.1～0.8 t/h であり，日本向けの製品（製造能力：0.1～0.6 t/h）も製造している．
Psi（米国）	・産業用の 1 t/h～15 t/h までの製造能力を持つペレットミルの他に，300 kg/h～500 kg/h の製造能力を持つペレットミルを提供している．
KAHL（ドイツ）	・300 kg/h～8,000 kg/h までの製造能力を持つペレットミルを提供している．
MÜNCH-Edelstahl GmbH（ドイツ）	・0.2～10 t/h の製造能力を持つペレットミルを提供している．

出典：NEDO 作成資料

2）国内

ペレットミルについては，現在，その大半を海外からの輸入品に頼っているが，国内でも，旭機械，富士鋼業，御池鉄工所が製造している（**表 4-43**）.

表 4-43　国内の主要なペレットミル関連メーカーの取り組み

メーカー名	取組み概要
旭機械（岩手県）	・木質ペレットミルを販売している．処理量として 300 kg/h，500 kg/h，1,000 kg/h のラインアップがある．
富士鋼業（静岡県）	・木質チップのミル，一次，二次破砕機などを製造している．
御池鉄工所（広島県）	・木質ペレットミルを製造している．ペレットの生産能力は 500 kg/h～3500 kg/h.

出典：日本木質ペレット協会 資料より NEDO 作成

3）今後の動向

欧州，北米，日本のペレットの需要は今後も増加していくことが予想され，ペレットミルの需要は増加傾向が期待される．日本国内については，欧州や北米よりも小型のペレットミルに需要があるものと考えられる．ペレットミルは製造能力とともに耐久性も重視される．

（3）ペレットストーブ

1）海外

ペレットストーブについては，欧州，特にイタリア，英国，オーストリアのメーカーによる製品が普及している．熱効率についても 90%を超えるものがある（**表 4-44**）．

表 4-44　海外の主要なペレットストーブメーカーの取り組み例

メーカー名	取組み概要
Aga（英国）	・出力規模：4.1 kW～13 kW までのペレットストーブを販売している. ・熱効率 90.4 %
Calimax（オーストリア）	・出力規模：1.8～12 kW までのペレットストーブを販売している. ・熱効率 94 %
Thermorossi（イタリア）	・出力規模：2.5 kW～11 kW までのペレットストーブを販売している.
EdilKamin（イタリア）	・出力規模：2 kW～13 kW までのペレットストーブを販売している.

出典：NEDO 作成資料

2）国内

ペレットストーブメーカーについては，さいかい産業などが，市町村役場や小中学校などの公共施設への導入を進めている（**表 4-45**）．

表 4-45　国内の主要なペレットストーブメーカーの取り組み

メーカー名	取組み概要
さいかい産業	・家庭向けおよび公共施設向けペレットストーブを製造販売している．公共施設，教育施設，店舗施設等に 157 台をこれまでに納入している.
シモタニ	・ペレットストーブを製造販売しており，2011 年に住宅設備機器分野でグッドデザイン賞を受賞している.
サンポット	・いわて型ペレットストーブを岩手県工業技術センターと共同開発し，製品化している.
山本製作所	・山形鋳物を使い，世界的工業デザイナーによるデザインを行ったペレットストーブを家庭，公共施設向けに販売．市町村役場，小中学校，宿泊施設等に納入.
金子農機	・温水ボイラとともに，ペレットストーブの販売を行っている．ペレットストーブのほか，穀物乾燥機，色彩選別機，精米加工機などを販売.

出典：NEDO 作成資料

3）今後の動向

欧州と北米では，ペレットストーブは既に普及段階に入っている．国内では，今後も公共施設などでのペレットストーブの導入が続くものと考えられる．また，再生可能エネルギーに対する意識の高い，家庭レベルでのペレットストーブの普及も進んでいくものと考えられ，各メーカーによるデザイン，操作性，および効率性に配慮した製品開発が進んでいくものと考えられる．

（4）炭化固体燃料

1）国内

炭化技術は多様であるが，例えば下水汚泥の炭化固体燃料製造に関連するプラントメーカーの取り組みとして，月島機械が挙げられる．また，メタウォーターが，厨芥類から炭化物を製造する施設を納入している（**表 4-46**）．

表 4-46　国内の主要な炭化固体燃料プラントメーカーの取り組み

メーカー名	取組み概要
月島機械	・下水汚泥の低温炭化処理技術を有しており，熊本市，大阪市で下水汚泥燃料化事業を展開している.
メタウォーター	・流動層炭化システム技術を有しており，厨芥類から炭化物を製造する田原リサイクルセンター（炭生館）に適用されている.

出典：NEDO 作成資料

2）今後の動向

国内の炭化技術に関して，下水汚泥の炭化については，既に公共下水道の整備が終わっており，施設更新のタイミングに際して，炭化施設の導入需要があるものと考えられる．農業系残渣，木質系バイオマスの炭化については，従来からの炭化技術だけでなく，半炭化技術について，今後，取り組みを始める企業が増えてくることが予想される．現状は，鉄工所の炉を有する関連企業で，コークスと合わせて燃焼させ，燃焼状態を維持する点で需要がある．一般的に安定した熱需要を見出していくことは難しいが，今後，炉に用いる用途だけでなく，燃焼を持続させる用途，例えば農業用の温室や温浴施設などの需要を見出すことができれば，国内でもさらに需要が広がっていくことが期待される．

4.4 バイオマス輸送燃料

本節では，バイオマス資源を，車両，航空機，船舶などの輸送機器の燃料に変換する技術について解説する（**図 4-44**）．

この分野に該当する主要な技術として，エタノール発酵，バイオディーゼル燃料（植物性油脂のエステル交換），藻類由来のバイオ燃料，ガス化液体燃料（Biomass to Liquid：BTL），直接液化（急速熱分解，水熱液化），メタン発酵など多様な技術が挙げられる．

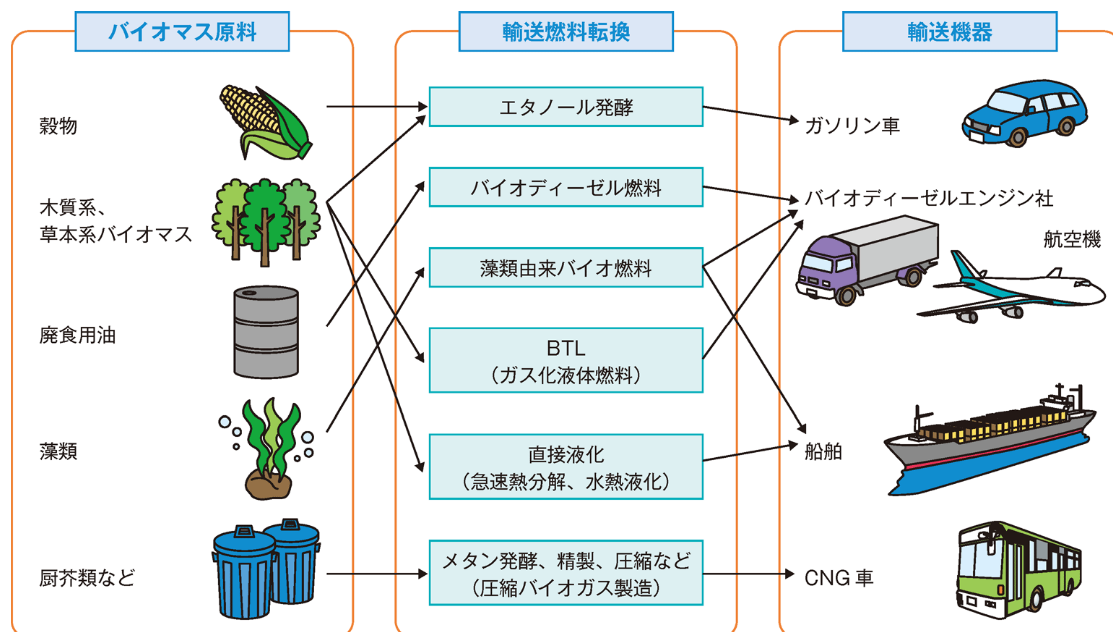


図 4-44　バイオマス輸送燃料変換技術の体系

エタノール発酵は，従来から実用的に用いられている糖や炭水化物を原料とする「第一世代」と呼ばれる技術と，木質系バイオマスなどのセルロース系資源を原料とする「第二世代」と呼ばれる技術がある．第一世代エタノール発酵では糖類や炭水化物を原料とするが，第二世代エタノール発酵では，糖類や炭水化物だけでなく木質系バイオマスなども原料とすることができる．技術開発段階も，既に商用的に用いられている第一世代エタノール発酵やバイオディーゼル燃料製造だけでなく，研究開発段階にある第二世代エタノール製造，藻類由来のバイオ燃料製造およびBTL などさまざまである．なお，藻類由来のバイオ燃料製造や BTL を「第三世代バイオ燃料」製造技術と呼ぶことがある．さらに，バイオブタノール製造や，直接液化（急速熱分解，水熱液化），メタン発酵 [5] などの技術も輸送燃料製造技術に含まれる．

BTL は，一酸化炭素と水素の合成ガス（シンガス）を基点とし，輸送燃料だけでなく多様な有機化合物を製造する技術である．BTL によって，輸送燃料としてはメタノールやエタノール，ガソリン，DME（ジメチルエーテル），MTBE（メチルターシャリーブチルエーテル）などが製造される．

4.4.1 技術の概要

（1）技術の俯瞰

1）エタノール発酵

エタノール発酵とは，グルコース（ブドウ糖）などの糖質に酵母を加え発酵させてエタノールを生成する技術である（**図 4-45**）．基本的には，酒類の製造方法と同様である．原料がでんぷん系の場合には，糖化酵素を加えて原料を糖化させる糖化工程が加わる．セルロース系原料からエタノールを製造する際には，加圧熱水，酸，アルカリ，および糖化酵素を利用した前処理糖化プロセスや，五炭糖をエタノール発酵する微生物が必要となり，これらはセルロース系原料からエタノール製造するための技術開発要素となっている．

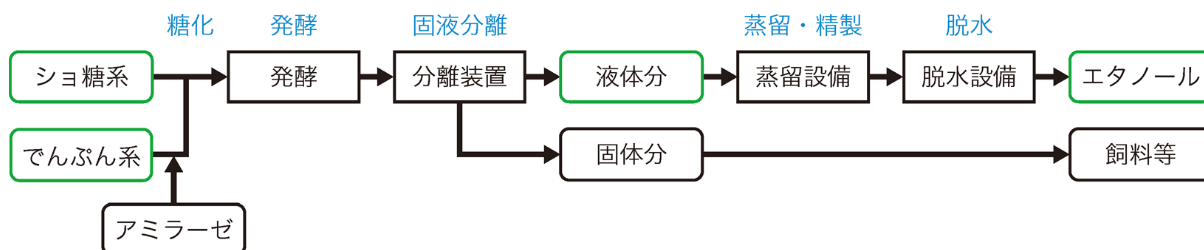


図 4-45　バイオマス資源を原料としたエタノール発酵（第一世代）のシステムフロー例

適用バイオマス資源は，ショ糖でんぷん系と，セルロース系の 2 種類に大別できる．ショ糖でんぷん系を原料とするエタノール発酵技術を第一世代，セルロース系を原料とする技術を第二世代と称する場合がある．第一世代技術の原料は食品系バイオマスであり，第二世代技術の原料は木質系バイオマス，農業残渣系，草本系バイオマス，および製紙系バイオマス（古紙，一般廃棄物中の紙由来分など）である．米国とブラジルは，国家政策としてバイオエタノールの製造を推

5 メタンを含む気体が発生し，精製・圧縮したものを CBG（圧縮バイオガス）などと呼び，CNG（圧縮天然ガス）自動車の燃料として使用可能である．

進しており，両国の製造量は世界全体のバイオエタノール製造量の約 90%を占める．現状，米国ではトウモロコシ，ブラジルではサトウキビ，EU では小麦やテンサイなどが主な原料として用いられている．

トウモロコシやサトウキビといったショ糖でんぷん系資源は，食料需要と競合する虞があるため，木質系バイオマスやバガス（サトウキビから糖蜜を搾った後の残渣）などの農業残渣を積極的に利用していくことが期待される．

第一世代の原料は六炭糖（C6）が主成分であるのに対して，第二世代では六炭糖のみならず，五炭糖（C5）も発酵対象とすることから，五炭糖発酵酵母の開発は重要な技術開発要素の一つである．他にも，例えば木質系バイオマスを原料として利用する場合には，エタノール発酵できないリグニンが原料に含まれ，この除去なども技術開発要素の一つとなる．

前述したとおり，エネルギー用途としてのバイオエタノール利用は，ガソリンの代替としての自動車用燃料が中心である．ガソリンと混合して燃料として利用するためには，無水エタノール化する必要があり，蒸留工程で水分と不純物を除去し，99%以上の高濃度エタノールにする必要がある．エタノールとガソリンの混合比率は，国や地域によってそれぞれ定められており，日本ではエタノール比率 3%までが認められている（これを「E3」という）．世界的には，国の政策により E10，E85 など多様な混合比率で利用されている．また，エタノールとイソブチレンを反応させ，ETBE（エチルターシャリーブチルエーテル）を合成し，これをガソリンと混合する利用方法もある．

図 4-46 に，セルロース系エタノール生産システムのパイロットプラントのプロセスフロー例を示す．しょ糖でんぷん系の原料のエタノール生産システムとは異なり，C5（五炭糖）発酵槽が付属することが特徴となっている．

また，木質系バイオマスなどを原料とする場合，前処理で原料を微細に破砕することも重要な技術である．

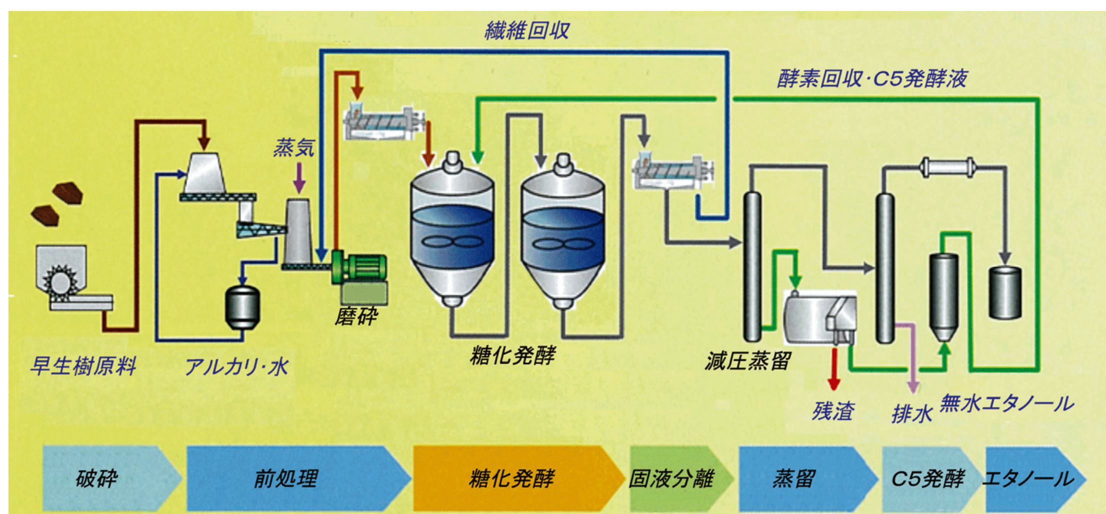


図 4-46　セルロース系エタノール生産システムのパイロットプラントプロセスフロー例

出典：「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」（2012，NEDO），（実施主体：産業技術総合研究所，王子ホールディングス，新日鉄住友エンジニアリング，京都大学，東京大学）

2）バイオディーゼル燃料

ここで解説するバイオディーゼル燃料製造技術は，主にグリセリン（3 価アルコール）と脂肪酸のエステルである植物油や廃食用油を原料として，これらにメタノールとアルカリ触媒を加えてエステル交換し，脂肪酸メチルエステル（Fatty Acid Methyl Ester：FAME）を得る技術である（**図 4-47**）．この脂肪酸メチルエステルは，ディーゼル代替燃料として利用できることからバイオディーゼル燃料と呼ばれる．エステル交換の際には，メタノール，エタノール，およびプロパノールなど種々のアルコールが適用可能であるが，コストの観点から，通常はメタノールが用いられる．また，前述した方法では，副次生成物であるグリセリンの利用や，自動車排ガス規制車両への対応などの課題もあり，エステル交換反応を無触媒で進行させるために，超臨界あるいは亜臨界状態で反応させる方法[6]や，水素化による方法も研究されている．なお，植物油の利用だけでなく，土地利用効率向上の観点から，油脂生産蓄積酵母などの研究開発も進められている．

バイオディーゼル燃料は，軽油代替燃料として利用される場合，国ごとに混合比率や燃料品質規格が定められている．例えば，日本では B5（バイオディーゼル燃料 5％を軽油に混合する）について品質規格が定められており，また，一部 B100（バイオディーゼル燃料を軽油と混合せず，バイオディーゼル燃料だけで使用する）としても利用されている．バイオディーゼル燃料は，軽油と混合して使用する場合（車両の燃料タンク内で混合される場合を含む），軽油引取税の課税対象となるため，バイオディーゼル燃料の利用に当たっては，税法（地方税法）の遵守に留意が必要である．

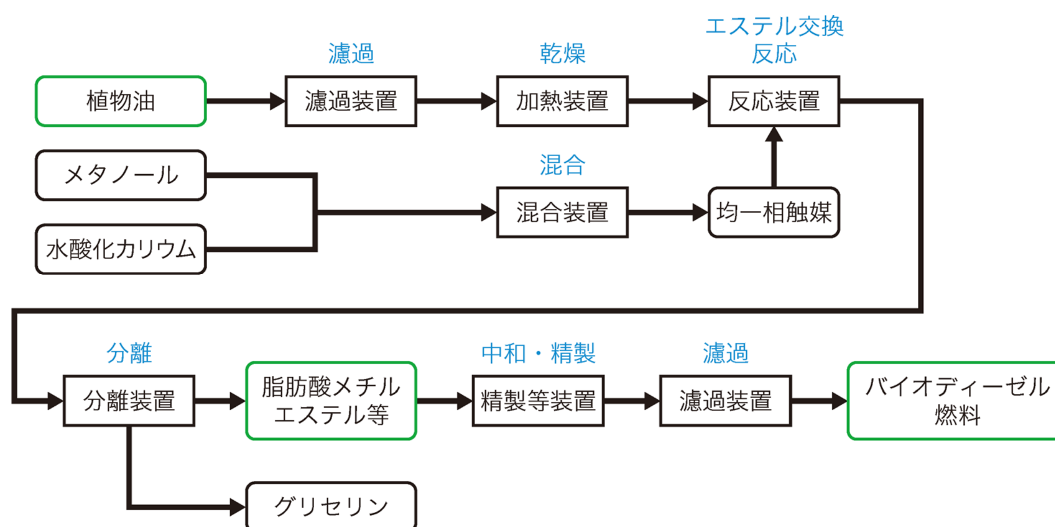


図 4-47　エステル交換によるバイオディーゼル燃料の生成反応

水素化（水素添加，水素化分解）は，水酸基を水素に置換する反応であり，植物性油脂だけでなく，動物性油脂も軽油に含まれる成分と同程度の分子量に分解するとともに，不飽和炭化水素を消失させ，酸化安定性に優れたディーゼル燃料（Bio Hydro-fined Diesel：BHD）に変換する技術である．水素化反応では，グリセリンなどの副次生成物が発生しないという利点があるものの，低温流動性に難があることや，現状では高コストになるといった課題があり，実用化に至っていない．

6　超臨界で反応させる方法を超臨界メタノール法，亜臨界状態で反応させる方法を亜臨界メタノール法と呼ぶ．

3）藻類由来のバイオ燃料

藻類由来のバイオ燃料製造とは，ある種の微細藻類を原料としたバイオ燃料製造技術である（**図 4-48**）．微細藻類は，耕地（田畑）を必要とせず，工業的な生産が可能であり，穀物などの陸上や高等植物と比較して，単位面積当たりの生産性が非常に高く，安定した生産が期待でき，食料生産と競合しないことから注目されている．その培養には，水が供給可能であれば，耕地として利用できない砂漠などの荒廃地の利用も可能であり，海水で培養できる藻類株も多種存在する．将来的にバイオマスやバイオ燃料の原料として高いポテンシャルを秘めているといえるものの，現状では製造原価が極めて高く，藻類由来のバイオ燃料は現時点では実用化に至っていない．そこで一般の植物同様に光合成によって炭酸ガスを固定し，油脂ならびに炭水化物を効率よく生産可能な藻類から，これらのバイオ燃料を経済的に得る手法の確立が期待されている．

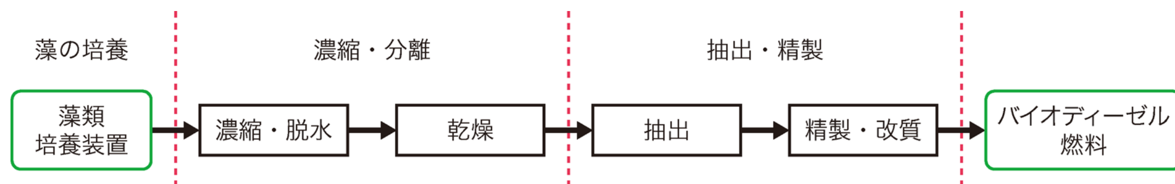


図 4-48　藻類由来のバイオ燃料の生成反応

4）BTL（ガス化液体燃料）

BTL（Biomass-To-Liquid）とは，原料バイオマスを熱分解ガス化し，生成した合成ガスから，触媒を用いて液体燃料を得る技術，あるいは得られる石油（ガソリン，軽油など）代替燃料のことである．熱分解ガス化によって得られる合成ガスの組成は，ガス化剤の種類，圧力，および温度条件などで制御可能である．最適な H_2/CO 比は，目的製造物によって異なり，例えば，フィッシャー・トロプシュ（Fischer Tropsch : FT）合成反応によって得られる FT 油を製造する場合，最適な H_2/CO 比は 2 である．**図 4-49** に示すとおり，合成ガスおよびそこから得られるメタノールを基点として，多様な代替燃料が製造可能である．BTL によって得られる代替燃料は，短期的にはメタノールやジメチルエーテル（Dimethyl Ether : DME），FT 油が主であり，将来的には混合アルコールや炭化水素（C3，C4 を主とする C2～C5），エタノールなどを得ることが期待される．また，水素製造やアンモニアなどの合成も可能である．

得られた合成ガスをそのまま発電などに使用する場合と異なり，BTL の場合は後段で触媒反応によって液体燃料を得るため，触媒反応に用いる合成ガスは，プロセスや生成物に応じてガス組成を厳密に制御しなければならず（H_2/CO＝1～3），また後段に高温高圧での触媒反応が控えるため，窒素を含む空気による熱分解ガス化は基本的に適用できない．さらに，触媒を被毒する不純物（タール，S，Cl などの微量元素）の除去が必要となる（発電目的の熱分解ガス化に比べ，不純物の濃度を 10 分の 1～100 分の 1 とすることが要求される）．

適用バイオマス資源は，木質系バイオマス，農業残渣，草本系バイオマス，および厨芥類である．熱分解ガス化プロセス（ならびに熱化学反応全般）自体が，発酵などと異なり，有機性化合物であればすべて熱分解ガス化が可能であるため，本技術は対応可能な原料の幅が広いことが特徴といえる．

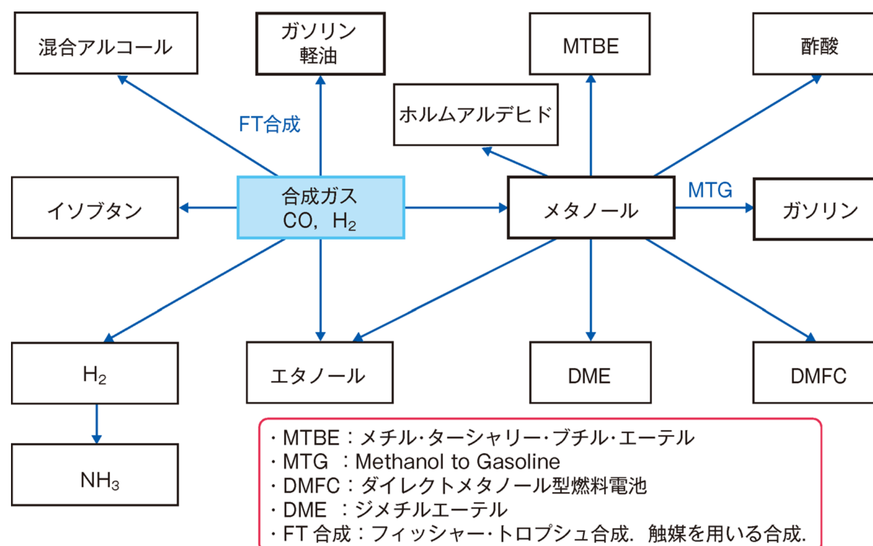


図 4-49　合成ガスを基点とする燃料／ケミカルズの製造

出典：“Preliminary Screening Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas”（2003，NREL）より NEDO 作成

5）その他の技術

その他の輸送燃料製造技術として，水熱ガス化技術，急速熱分解技術，および水熱液化技術が挙げられる．これらの技術はまだ研究開発段階であるため，その概略を示すこととする．

i）水熱ガス化

水の臨界温度や臨界圧力よりも高い状態を超臨界状態といい，この周辺の比較的高密度で反応性に富んだ状態を含めて水熱状態という．水熱状態では，熱分解が迅速に進むため，ガス化や液化が容易に進行する．

温度の違いで生成物が異なり，100～200℃といった低温での反応は，可溶化や低分子化の目的で，他の変換の前処理として水熱処理されることもある．200～300℃で液化し，超臨界状態を含む 370℃前後でガス化する．

原料の乾燥が不要であるため，含水率の高いバイオマスの有効利用が可能である．

ii）急速熱分解

急速熱分解とは，バイオマスを急速に加熱することによって熱分解を進行させ，油状生成物を得る技術である．瞬間的または急速に昇温した後，一気に冷却して高次の熱分解反応を抑制することによって，熱分解油や植物由来の有用な高分子などを得ることができる．触媒は用いず，温度などの制御によって反応を進行させる．乾燥や熱伝導を効率よくするため，原料バイオマスの微粉砕が必要となり，熱分解油は重縮合して固化しやすいため，熱分解装置では速やかな排出が重要となる．瞬間加熱には，熱砂浴や赤外線加熱，マイクロ波などが用いられる．また，遠心力型熱分解装置によって熱分解する方法もある．なお，いずれの方式も大規模な処理には適さない．

適用できるバイオマス資源は木質系バイオマスであり，生成液体燃料は原油の半分程度の発熱量を持ち，発電および熱利用が可能である．

iii）水熱液化

バイオマスを高温および高圧の水熱状態で熱分解させ，油状生成物を得る技術である．水熱状態の温度の違いで生成物が異なり，200～300℃でバイオマスが液化される．

しかし，パイロットスケールまで開発されているものの，実用化例は現時点ではない．

（2）製造コスト

1）エタノール

原料や製法ごとのバイオエタノール生産コストを，IEA では**図 4-50** のとおり試算している．2007 年時点，最も安価な原料はサトウキビで約 20～40 円/L（1 ドル＝80 円で換算，以下同じ），次いでトウモロコシ，テンサイ（ビート）が約 50～60 円/L と続き，セルロース系は約 60～90 円/L とされている．これが，2030 年には，サトウキビは約 20～30 円/L，トウモロコシなどでは約 30～40 円/L に低下し，セルロース系もサトウキビと同等まで低コスト化されると試算されている．

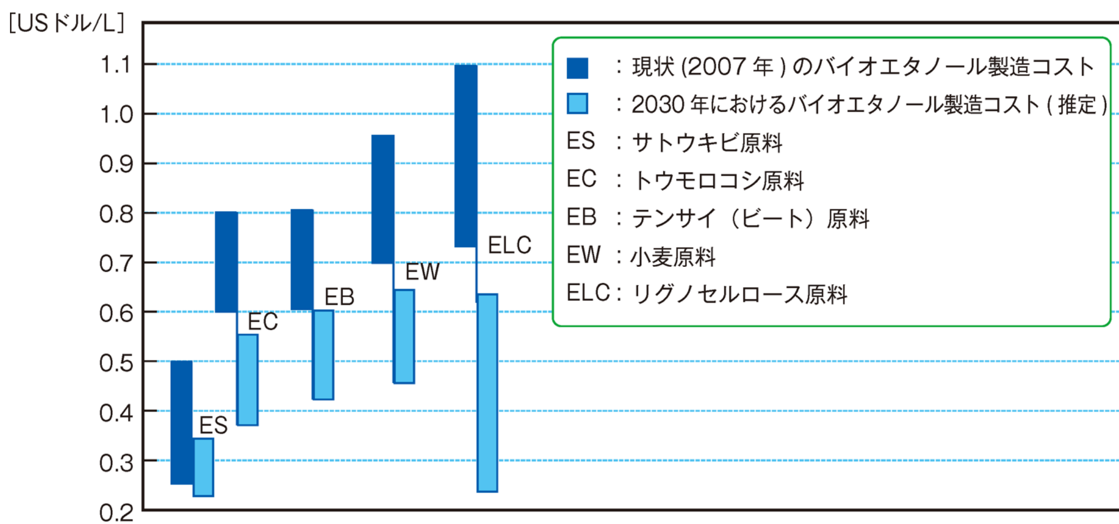


図 4-50　バイオエタノールの現状（2007 年）および将来（2030 年）の製造コスト

出典：“IEA Energy Technology Essentials”（2007，IEA）より NEDO 作成

国内でのバイオエタノール生産については，小規模な実験プラントで，サトウキビからの精糖工程で発生する廃糖蜜やでんぷん質原料を基に，バイオエタノールの生産が実施されてきた．各種原料由来のバイオエタノール生産コストの比較を**図 4-51** に示す．海外製のバイオエタノールが 50 円/L 以下であるのと比較しても，国内原料によるエタノール製造については，コスト面での競争力が劣っている．

こうした状況を踏まえ，国内でのバイオ燃料に関する技術革新の道程を検討することを目的として，2007 年に経済産業省と農林水産省が共同で立ち上げた「バイオ燃料革新技術協議会」の中で，2015 年時点のセルロース系エタノール製造コストとして 100 円/L（バイオマスニッポンケース）と 40 円/L（技術革新ケース）の 2 つの目標が掲げられた．

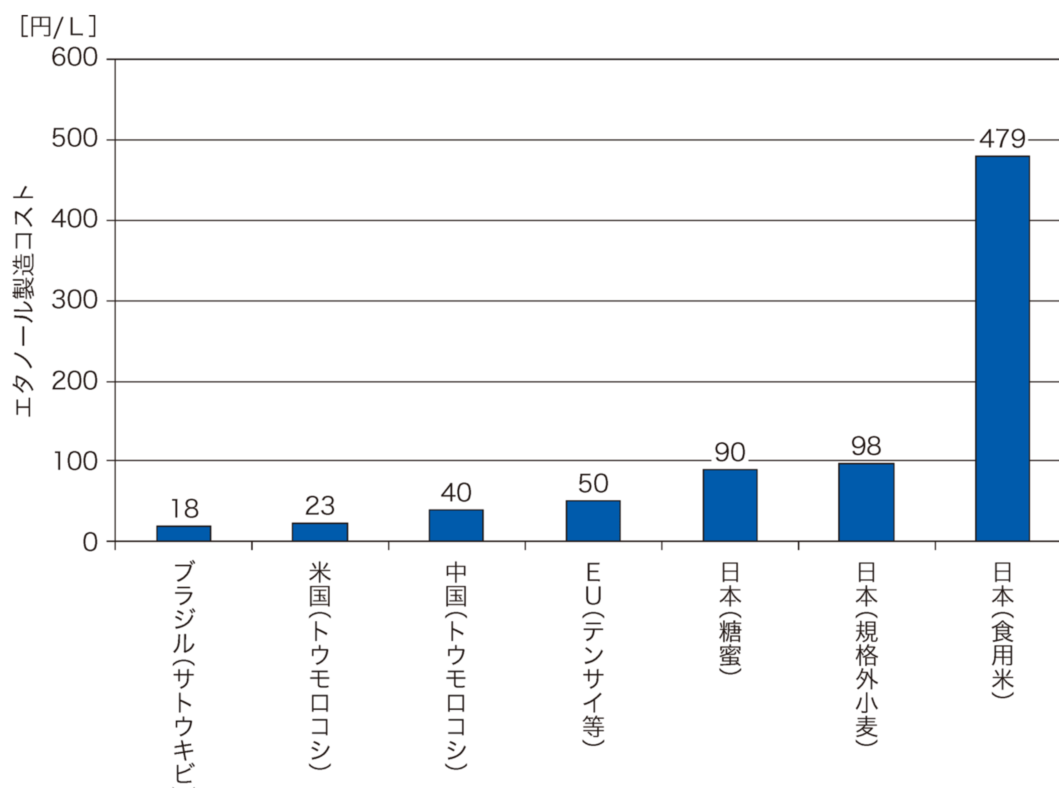


図 4-51　各種バイオエタノールの製造コスト比較

出典：「国産バイオ燃料新時代」（2010，農林水産省）より NEDO 作成

2）バイオディーゼル

エステル交換および FT 合成による燃料製造（バイオディーゼル燃料製造）コストについて，IEA による試算結果を**図 4-52** に示す．

エステル交換による製法では，2007 年時点で，植物性油脂原料について約 60～80 円/L（1 ドル＝80 円で換算，以下同じ）とされているものが，2030 年には，技術開発により植物性油脂原料で約 30～60 円/L まで低コスト化されると試算されている．

FT 合成による製法では，2007 年時点で約 70 円/L 以上とされているものが，約 60～70 円/L 程度まで低コスト化されると試算されている．

ここまで，バイオ燃料の種類とその製法の違いによる製造コストの違いを解説した．次に，化石燃料由来ガソリンの製造コストとバイオ燃料の製造コストの将来予測を示す．低コストシナリオでは，将来の時点で（2030 年以降），従来型バイオディーゼル燃料は化石燃料由来ガソリンよりも高コストになるものの，それ以外のバイオ燃料では，化石燃料由来のガソリンよりも低コスト生産になるという予測となっている（**図 4-53**）．

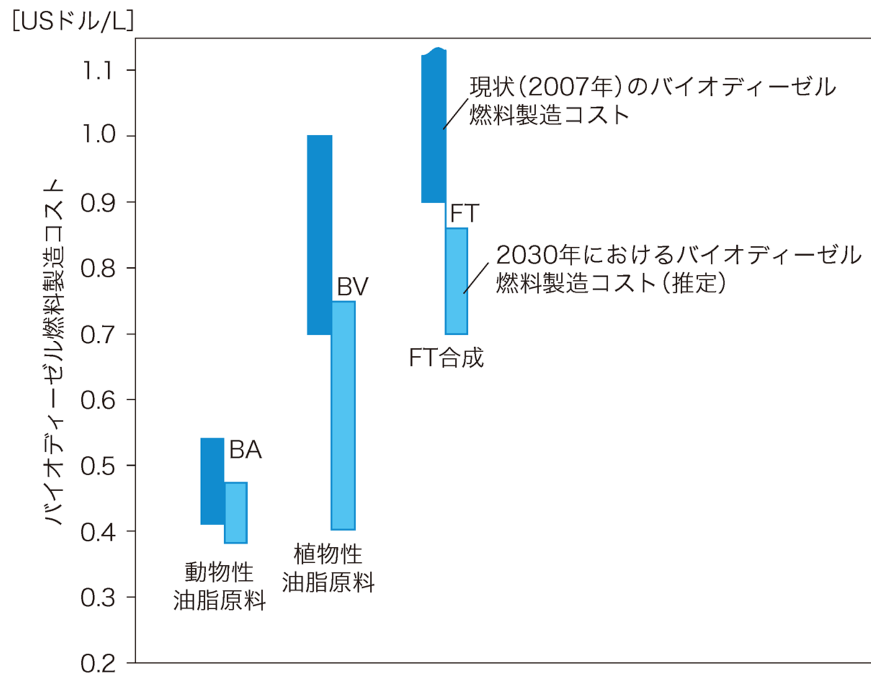


図 4-52　バイオディーゼル燃料の現状（2007 年）および将来（2030 年）の製造コスト

出典：“IEA Energy Technology Essentials”（2007，IEA）より NEDO 作成

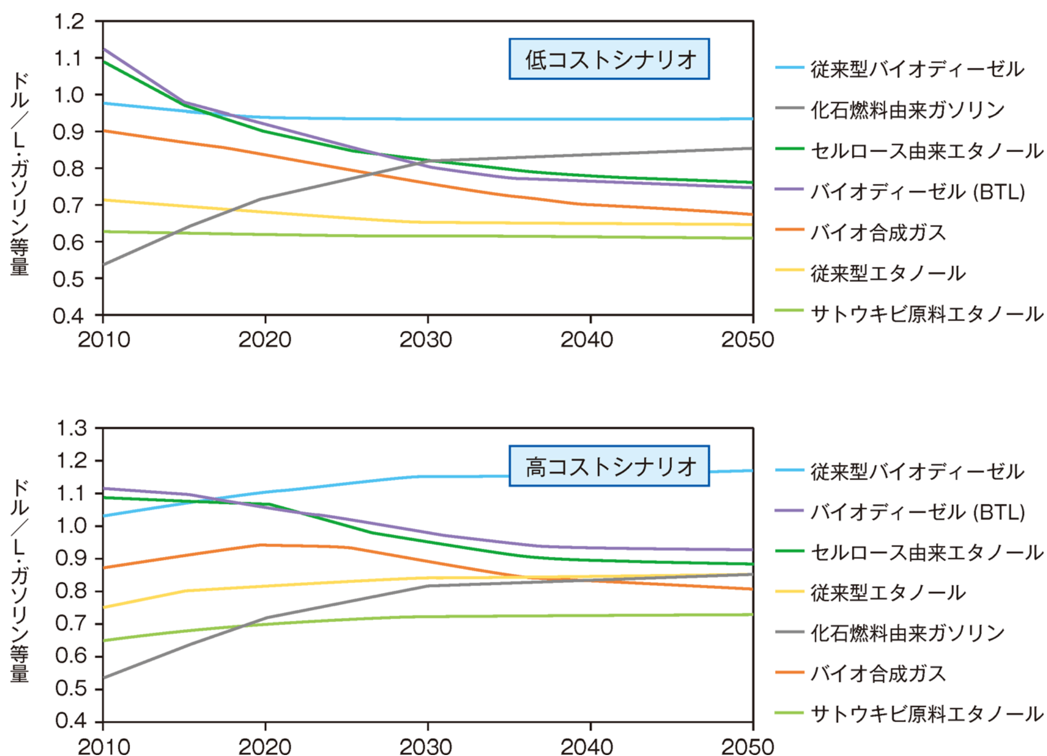


図 4-53　化石燃料由来ガソリンと比較したバイオ燃料の製造コスト目標（2010～2050 年）（BLUE Map シナリオ）

注：コストは税を除く国際的な取引価格の影響を受ける．原料供給やその他のコスト要因は地域差が生じる．
BLUE Map シナリオでは，2050 年に温室効果ガス排出量が半減し，輸送エネルギーにおけるバイオ燃料の利用率が 2%から 27%に向上すると想定されている．
低コストシナリオでは，バイオ燃料の生産コストへの石油価格高騰の影響が小さいと仮定．
高コストシナリオでは，バイオ燃料の生産コストへの石油価格高騰の影響が大きいと仮定．
出典：“IEA Energy Technology Essentials”（2007，IEA）より NEDO 作成

4.4.2 導入目標，導入実績

（1）導入目標

欧州（EU），米国，日本のバイオ燃料の導入目標，持続可能性基準を**表 4-47** に示す．

導入目標については，欧州では，2020 年までに輸送燃料の 10%を再生可能燃料とすることを規定している．欧州が利用率によって目標規定しているのに対して，米国と日本では絶対量で目標を規定し，それぞれバイオ燃料 1.4 億 kL（2022 年），バイオエタノール 50 万 kL（2017 年度，原油換算）としている．

また，バイオ燃料の生産および利用では，化石燃料と LCA[7] で比較した CO_2 削減，食料との競合，および生物多様性への対応など，持続可能性の確保が重要であるとしている．CO_2 削減義務については，欧州，米国，日本ともにガソリンと比べて 50%あるいは 50～60%としており，とりわけ欧州と日本では，食料競合や生物多様性への対応を持続可能性基準として明示している．

表 4-47 EU，米国，日本のバイオ燃料の導入目標等

	導入目標	持続可能性基準
日本	・エネルギー供給構造高度化法（2009 年制定・2010 年 11 月施行）において，2017 年度におけるバイオエタノール利用目標量を 50 万 kL（原油換算）と規定．義務対象者は石油事業者，ガス事業者．	・CO_2 削減義務：50 %を CO_2 削減水準として設定することが一つの方向性． ・食料競合への対応：草や木から製造するセルロース系バイオ燃料技術開発を推進など． ・生物多様性への対応：生産国の国内法の遵守．
EU	・2009 年「再生可能エネルギー導入促進に関する指令」において，2020 年までに輸送燃料の 10 %を再生可能燃料とすることを規定．	・CO_2 削減義務：50%削減（2017 年までは 35 %削減） ・食料競合への対応：欧州委員会が 2 年毎にバイオ燃料が食料競合に及ぼす影響について欧州議会・連合理事会に報告 ・生物多様性への対応：生物多様性が高い，消失懸念のある土地でバイオ燃料の原料生産を禁止
米国	・2007 年エネルギー自立・安全保障法において，2022 年までの再生可能燃料（バイオ燃料）の導入目標量を設定．2022 年に 360 億ガロン（約 1.4 億 kL）．	・CO_2 削減義務：セルロース系バイオ燃料は 50～60 %削減（既存のトウモロコシ由来のエタノールについては 20 %削減）

出典：「バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会」（2010，経済産業省）などより NEDO 作成

1）日本

日本のバイオ燃料の利用目標として，バイオエタノールの利用に関するものがある．具体的には，バイオエタノールを自動車用の燃料としてガソリンに混和する利用目標量である．2011 年度から 2017 年度までの 7 年間については，石油精製業者によるバイオエタノールの利用目標量として**表 4-48** のとおり定められている．

各石油精製業者は，前々年度の揮発油の国内供給量全体に占める各事業者の国内供給量の割合に応じて，バイオ燃料を利用する義務を負う．

調達するバイオエタノールは，LCA での温室効果ガス排出量が化石燃料由来の揮発油に比べて 50%未満のものに限定され，また，調達に際しては，食料競合の回避（食用作物を使わないこと）および生物多様性の確保（生物保全価値の高い土地利用や侵略性のある種の使用禁止）に配慮す

7 LCA：ライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment）の略．

ることが求められる.

表 4-48 日本のバイオエタノールの利用目標量の総計

2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
21 万 kL	21 万 kL	26 万 kL	32 万 kL	38 万 kL	44 万 kL	50 万 kL

出典:「エネルギー供給構造高度化法」(正式名称:エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律)(2009) 関連資料より NEDO 作成

2) 欧州

EU では,2009 年 6 月に発効した再生可能エネルギー指令(2009/28/EC)で,2020 年に輸送燃料の 10%を再生可能エネルギーとする目標を定めた.現在,EU 指令に対応するため,加盟各国で国内法が準備されている.**表 4-49** に,欧州主要国の再生可能エネルギー全体と,バイオマスエネルギーの導入目標などを整理したものを示す.なお,前述した国内法整備によって,目標値は,今後見直される可能性がある.

表 4-49 欧州諸国の再生可能エネルギー・バイオマス輸送燃料の導入目標など

国名	導入目標等	
	再生可能エネルギー全体(参考)	バイオマス輸送燃料
英国	・2008 年「英国再生可能エネルギー戦略」や 2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」による国別目標値として,2020 年の再生可能エネルギー比率を 15 %と設定. ・2020 年に再生可能エネルギー比率を 15 %とする場合,2020 年に電力部門における再生可能エネルギー比率は 32 %と想定.	・2008 年から再生可能燃料導入義務(RTFO)により燃料供給業者に再生可能燃料(バイオ燃料)の販売割合を義務付け.2010~11 年は 3.5 %(実績値は,3.27 %.なお,目標値は当初 2010~11 年において 5%であったが,2013~14 年において 5 %と引き下げられた).
ドイツ	・2009 年の「再生可能エネルギー導入促進に関する欧州指令」による国別目標値として,2020 年の再生可能エネルギー比率を 18 %と設定. ・2008 年の「再生可能エネルギー法」改正により,2020 年までに電力部門における再生可能エネルギー利用比率を 30 %とする目標を設定.	・2007 年の「バイオ燃料割当法」で燃料販売者にバイオ燃料の販売割合を義務付け.2015 年は総割当率 8.00 %,軽油への割当率 4.40 %,ガソリンへの割当率 3.60 %となる(割当率は発熱量ベース).

出典:「バイオマスエネルギー導入ガイドブック(第 3 版)」(2010,NEDO)

3) 米国

2007 年に成立した「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」で「第 2 章 バイオ燃料増産によるエネルギー安全保障」が掲げられ,**表 4-50** の再生可能燃料使用基準(Renewable Fuel Standard:RFS)が定められた.これによれば,2022 年には 2010 年実績に対して,RFS では 2.8 倍,先進バイオ燃料では 22 倍,セルロース系燃料では 160 倍の伸びが見込まれている.2022 年で,RFS に占める先進バイオ燃料の割合は 58%,先進バイオ燃料に対するセルロース系燃料の割合は 76%となっており,特にセルロース系燃料の伸びが期待されているといえる.なお,2011 年実績では,RFS が 154.6 億ガロン(5.85 億 kL),先進バイオ燃料が 18.7 億ガロン(0.71 億 kL),セルロース由来のバイオ燃料の実績はなし,となっている.

表 4-50　米国「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」での再生可能燃料使用基準

［億ガロン］

年	再生可能燃料使用基準（RFS）	RFS に占める先進バイオ燃料（セルロース）
2006	40	―
2007	47	―
2008	90	―
2009	111	6.0（0.0）
2010	129.5	9.5（1.0）
2011	139.5	13.5（2.5）
2012	152	20.5（5.0）
2013	165.6	27.5（10.0）
2014	181.5	37.5（17.5）
2015	205	55.0（30.0）
2016	222.5	72.5（42.5）
2017	240	90.0（55.0）
2018	260	110.0（70.0）
2019	280	130.0（85.0）
2020	300	150.0（105.0）
2021	330	180.0（135.0）
2022	360	210.0（160.0）

注：2022 年の RFS は約 1.36 億 kL，先進バイオ燃料（セルロース）は約 0.79 億 kL（約 0.61 億 kL）に相当．
出典：米国「エネルギー自立およびエネルギー安全保障法」条文より NEDO 作成

（2）導入実績

世界全体の，バイオエタノールとバイオディーゼルの生産量の推移を**図 4-54** に示す．2010 年の 2000 年に対する増加率では，バイオエタノールで約 5 倍，バイオディーゼルで約 24 倍となっている．

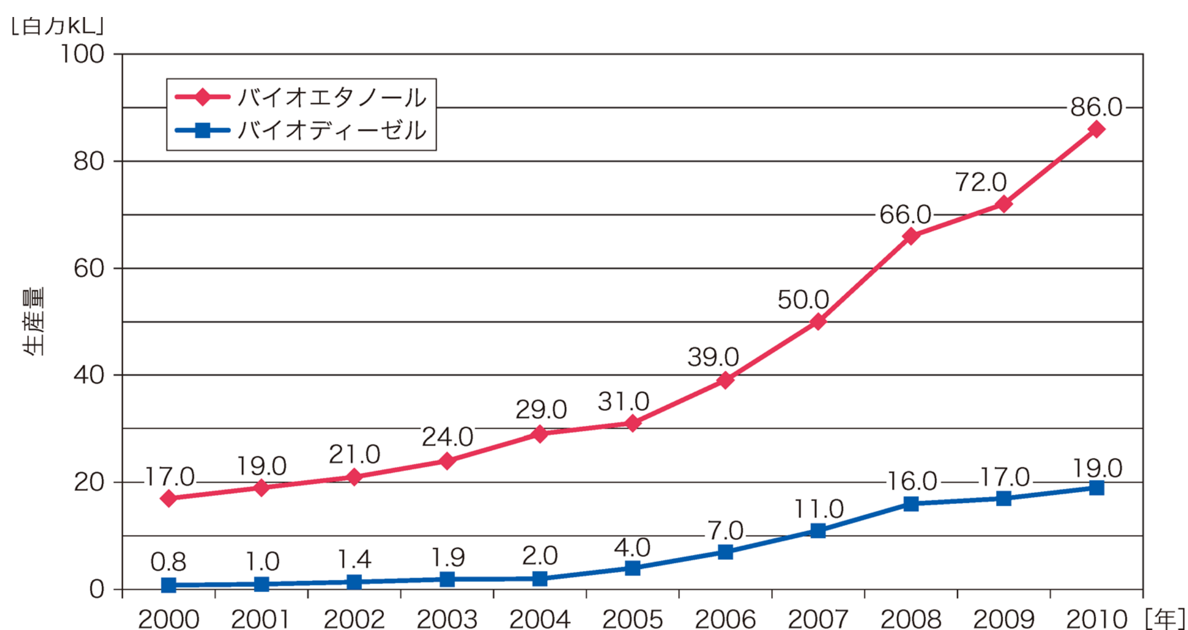


図 4-54　バイオディーゼル，バイオエタノールの生産量推移

出典：“Renewable2011 GLOBAL STATUS REPORT”（2011，REN21）より NEDO 作成

1） 日本

日本のバイオエタノールの生産量（2010 年 3 月時点の推計値）は 1.5 万 kL/年であり，ガソリン生産量（2010 年度）5,384 万 kL/年と比較すると，0.03%（体積比）に相当する．また，バイオディーゼル燃料の生産量（2010 年 3 月時点の推計値）は 1.3 万 kL/年であり，軽油生産量（2010 年度）39,641kL/年と比較すると，0.03%（体積比）に相当する．

後述する米国や欧州と比べると，バイオ燃料の普及が進んでいるとはいい難いレベルに留まっている．

2）欧州

欧州各国のバイオエタノールとバイオディーゼル燃料の導入量を**表 4-51** に示す. それらの導入量を比較すると，バイオディーゼル燃料がバイオエタノールの約 4.5 倍となっており，バイオディーゼル燃料の利用が進んでいるのが特徴である．

表 4-51　バイオ燃料導入実績

［原油換算量（万 kL)］

	バイオエタノール	バイオディーゼル燃料
欧州（欧州連合）	191	854
ドイツ	44	268
フランス	44	218
英国	11	75
その他	92	293

出典 : “Biofuels Barometer”（2010，EurObserv‘ER）より NEDO 作成

i） 英国

バイオ燃料に関し，2008 年には再生可能輸送燃料義務制度が導入された．現段階では，ブラジルなどから輸入するバイオエタノールが半数程度を占めている．

ii） ドイツ

バイオ燃料の消費量は EU 最大である．自動車用燃料販売事業者にはバイオ燃料販売義務が課せられており，バイオディーゼル燃料，純植物油，およびバイオエタノール（主に ETBE）が利用されている．

3） 米国

米国のバイオエタノールとバイオディーゼル燃料の導入量は，原油換算でそれぞれ，1,580 万 kL，170 万 kL である．

米国では，再生可能燃料使用基準によって，輸送燃料への再生可能エネルギー導入が義務化され，特に 2000 年以降，バイオエタノール（主に E10[8]）の導入が急速に拡大している．現在のバイオエタノール原料の中心はトウモロコシだが，非食用の草本系バイオマスを原料とするバイオエタノール製造の技術開発も行われている．

8 ガソリンにエタノール 10%を混合させた燃料.

4.4.3 世界の市場動向

（1）市場の現状および将来見通し

世界で消費される輸送燃料のうち，バイオ燃料の占める割合と，バイオ燃料の推移（予測）を**図 4-55** に示す．2035 年では 1990 年に対して，バイオ燃料の需要量で約 34 倍，比率で約 16 倍になると見込まれている．

また，バイオジェット燃料に関しては，2012 年で世界需要の 1%未満程度，2015 年で 1%，2020 年で 15%，2030 年で 30%程度，2040 年で 50%程度の普及を目指している（**図 4-56**）．

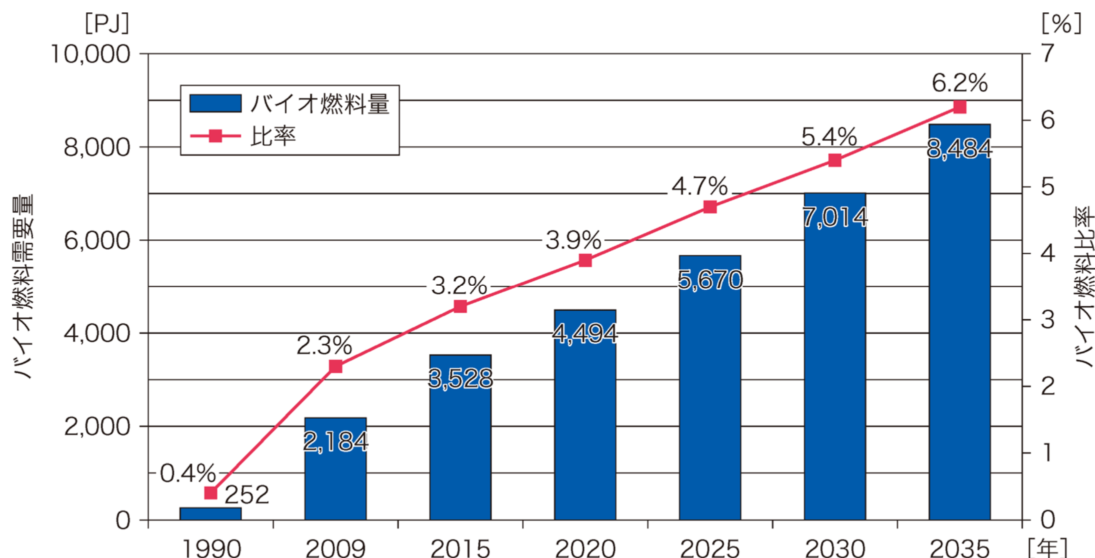


図 4-55　世界の輸送燃料のバイオ燃料需要量とその比率（New Policies Scenario）

注：New policies Scenario：既往の政策や今後計画された政策が着実に実行された場合のシナリオ
出典："World Energy Outlook 2011"（2011，IEA）より NEDO 作成

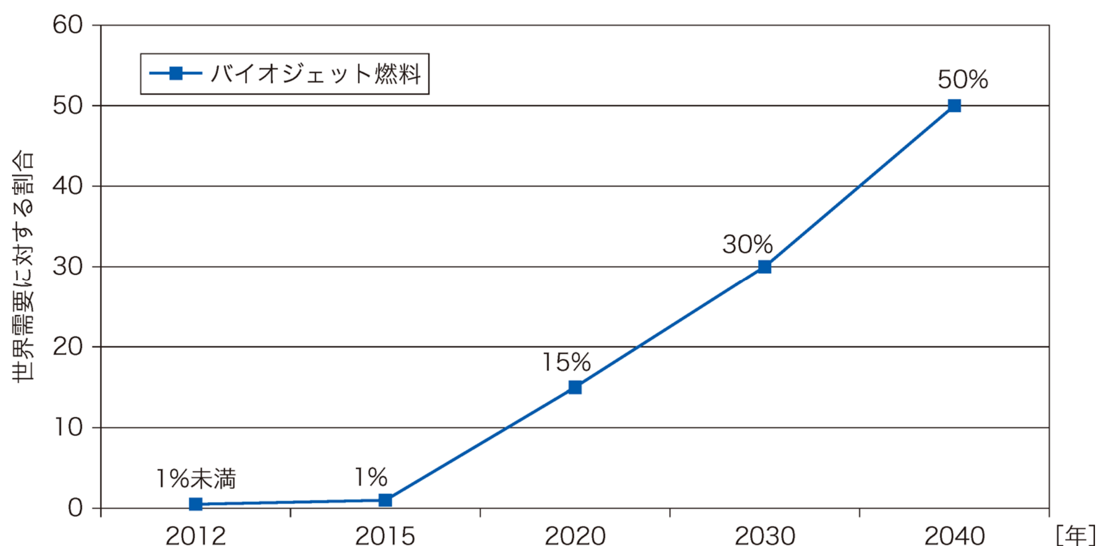


図 4-56　バイオジェット燃料の普及目標

出典："Beginner's Guide to Aviation Biofuels"（2009，ATAG:Air Transport Action Group）より NEDO 作成

（2）国別および地域別のメーカーと生産動向

1）第一世代バイオエタノール

第一世代バイオエタノールの国別生産施設数（上位 11 ヵ国）を**図 4-57** に示す．

上位からブラジル（435 ヵ所，26.3%），インド（361 ヵ所，23.7%），米国（241 ヵ所，14.6%）となっており，これらで全体（1,652 ヵ所）の 64.6%を占める．

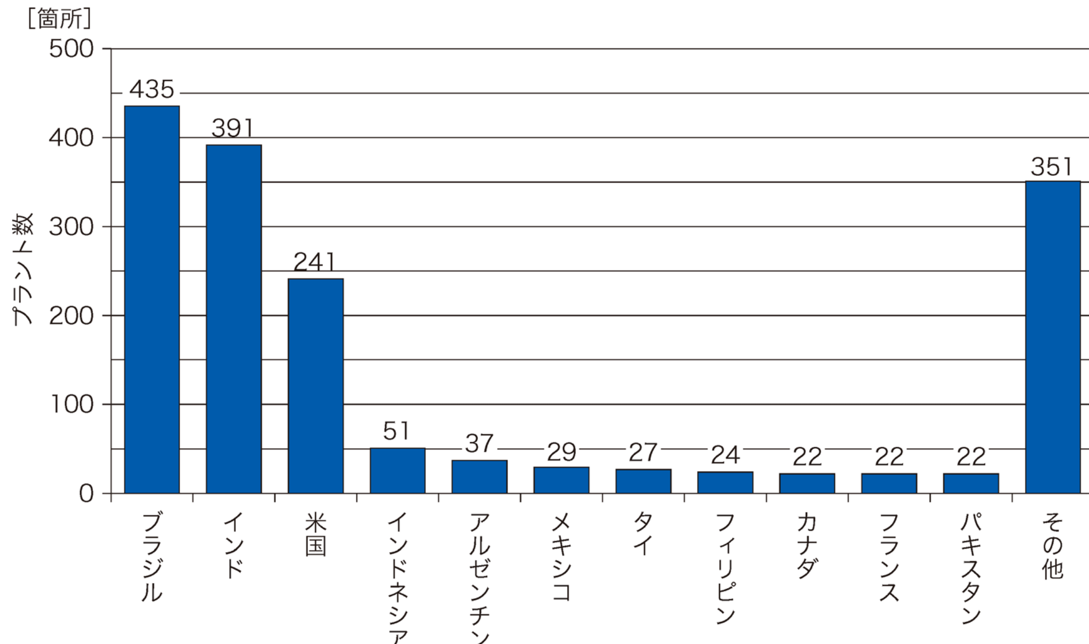


図 4-57　第一世代バイオエタノールの国別生産施設数（上位 11 ヵ国）

出典： F.O. Licht 社データより NEDO 作成

2）第二世代バイオエタノール

i）日本

バイオエタノールの国内プラントメーカーの取り組み実績例を**表 4-52** に示す．ここで取り上げた取り組み実績例 6 件のうち 3 件が実証事業であり，さらにそのうち 2 件が NEDO の実証事業となっている．海外の取り組み実績例と比較すると，スケールアップが課題であるといえる．

ii）欧州

欧州に立地している大規模セルロース系エタノール製造設備として，ノルウェーの生産実績 2 万 kL（2011 年）のプラントが挙げられる．これは化学会社 Borregard 社（ノルウェー）の運営による．原料は木質系バイオマスと農業残渣系である．

iii）米国

農業残渣系のバイオマスや廃木材を原料とするバイオエタノール製造プラントがルイジアナ州に立地している．このプラントは BP 社（英国）によるもので，生産実績は 5.3 万 kL（2007 年）である．

iv）アジア

アジアでは，中国にわらを原料とする生産設備が立地している．生産実績は約 12 万 kL（2011 年）である．なお，同じく中国で，2013 年の計画生産量 63 万 kL，2014 年の計画生産量 125 万 kL という大規模プラントが計画されている．

表 4-52 国内バイオエタノール関連事業者

メーカー名	取組み実績例
月島機械 JFE エンジニアリング	・NEDO のタイにおけるバイオエタノール製造技術実証事業の事業化可能性調査で，月島機械が有する酵素法バイオエタノール技術と JFE エンジニアリングが有する商業プラントのプロセス技術を融合し，バイオエタノール生産に取組んでいる．原料は農林残さ．
新日鉄エンジニアリング	・環境省の実証事業で蜜柑の搾りかすからエタノールを製造する取組みを愛媛県松山市で行い，実証事業終了後，愛媛県により継続されている．技術的に蜜柑の搾りかすから 100 %エタノールを製造するところまで進めた．
大成建設	・大阪府堺市の DINS 堺バイオエタノール事業所が，廃木材からエタノールを製造するとともに，燃料用として販売する事業を行っている．途中で得られるリグニンを活用したペレット製造や木質チップによるボイラ利用などの取組みを進めている．0.14 万 kL/ 年（2007 年）の生産量．
三井造船	・マレーシアにおいて，EFB（アブラヤシの空果房）を原料としてバイオエタノールを製造する実証プラントを，パーム農園のサイムダービー社の搾油工場に隣接させて稼動させた．
双日 日立造船	・NEDO の委託事業として，黒龍江省（中国）において，馬鈴薯からデンプンを搾り取った後に発生する残さを原料としてバイオエタノールを製造する実証事業を実施している．
サッポロビール 磐田化学工業，他	・NEDO の委託事業として，タイにおいてキャッサバ残さを原料としてバイオエタノールを製造する実証が予定されている．

出典：NEDO 作成資料

3）バイオディーゼル燃料（Bio Diesel Fuel：BDF）

i）日本

バイオディーゼル燃料製造に関する国内プラントメーカーの取り組み実績例を**表 4-53** に示す．バイオディーゼル燃料製造装置については，小型で自動運転や半自動運転を行い，廃食用油からバイオディーゼル燃料を製造する装置が主流であるが，近年ひまわりを原料に扱える装置などが出てきている．

表 4-53 国内 バイオディーゼル燃料製造装置メーカー

メーカー名	取組み実績例
セベック	EOSYS-100 という世界最小の全自動精製機を販売しており，EOSYS シリーズを全国で 500 台以上販売している．産業廃棄物処理業者，運送会社，福祉施設が主な販売先．
ダイキアクシス	自動運転タイプ，半自動運転タイプの BDF 精製機器を販売するとともに，自社で BDF の販売も行っている．
BDF	染谷商店グループのバイオエネルギー部門として設立．エステルボーイという小型 BDF プラントの販売を行っている．納入実績約 50 件．
バイオマス・ジャパン	BDF プラントの研究開発，精製装置の販売 BDF の原料となるジャトロファの栽培を行っている．
三菱化工機	ひまわりからの BDF 製造を行える精製装置を開発し，茨城県牛久市に納入．

出典：NEDO 作成資料

後述する欧米やアジアに立地しているプラントは，日本に立地しているプラントより規模が大きく，年間数百 kL から 1,000kt（約 1,100kL）を超える規模もある．スケールメリットなどの観点で，コスト競争力は日本企業のほうが低くなると考えられる．

ii）欧州

欧州全体のバイオディーゼル燃料の生産能力は，2010 年で 21,904kt/年（24,200kL/年），2011 年（推定）で 22,117kt/年（24,500kL/年）となっており，1.02 倍の伸びとなっている（年間 330 日稼動換算）．上位 10 ヵ国では**図 4-58** のとおり，伸び率が大きいのはポーランド（1.22 倍）とギリシャ（1.21 倍）などである．

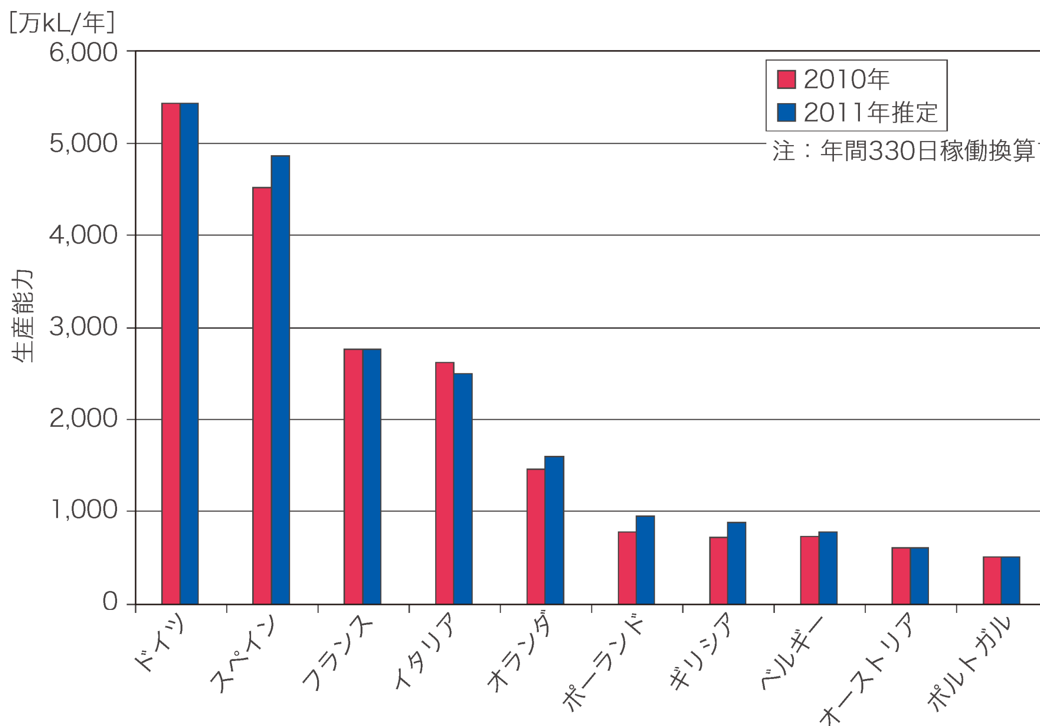


図 4-58　欧州の交通用バイオディーゼル国別生産能力（上位 10 ヵ国）

出典："Biofuels Barometer"（2011，Eurobserv'er）より NEDO 作成

iii）米国

米国に立地しているバイオディーゼル燃料プラントは，数十 kt/年程度の規模が多く，大きいプラントでも，200～300kt/年（220～330kL/年）程度である．これは，欧州やアジアのプラントに比べると，やや規模が小さいといえる．

米国のバイオディーセル燃料の生産能力は，米国バイオディーゼル燃料会議会員のうち，設備規模が把握されているものに限られるが，合計で 1,286 百万ガロン/年（4.87 百万 kL/年）となっている．

iv）アジア

アジアでは，バイオディーゼル燃料製造に適したバイオマス資源が豊富に存在し，大規模に製造されている．例えば，インドネシア Dumai 市のパーム油を原料としたプラントでは，1,050 kt/年（1,160kL，2009 年）が生産されている．プラントは ADM 社が運営している．

シンガポールでは，フィンランドの石油会社 Neste Oil による 800kt（880kL，2010 年）規模のプラントも稼動している．原料はパーム油で，水素化処理技術によって水素化ディーゼル燃料を製造する．Neste Oil は積極的に再生可能ディーゼルの生産に取り組んでいる．

4.4.4 各国の技術開発動向

本項では，バイオマス輸送燃料全般に係る技術開発動向などとして，バイオマス資源のエネルギー利用に当たって重要となる原料製造と原料収集などの上流工程や，プラントで使用する微生物の開発など，国別および地域別の総合的な取り組みを紹介した後，技術分野別（エタノール発酵，バイオディーゼル燃料製造，藻類由来のバイオ燃料製造，BTL，その他）の技術開発動向と技術開発項目を概観する．

（1）バイオマス輸送燃料全般

1）欧州

欧州（EU）では，加盟各国共同で研究活動を行うための支援計画として，欧州フレームワーク計画（FP）を定め，技術開発を行っている．FP7 で，再生可能エネルギーを含む「Energy（エネルギー）」プログラムには 23.5 億ユーロの予算が割り当てられており，FP6 の予算（8.9 億ユーロ）と比較して，約 2.6 倍に増額されている．

表 4-54 に FP7 の主要なバイオマスエネルギー関連プロジェクトを示す．液体燃料製造や原料栽培に関する研究に，多くの予算が割り当てられている．

2）米国

米国では，エネルギー省が中心となってバイオマス技術の研究開発を進めている．2008 年には省エネルギー・再生可能エネルギー局（EERE）によって「バイオマス複数年プログラム計画（Biomass Multi-Year Program Plan）」が策定され，これに沿ったバイオマスの技術開発が行われている．

本プログラムは，2007 年にブッシュ大統領が掲げた，2017 年までにガソリンの 20%を削減する「Twenty in Ten」の目標や，エネルギー自立・安全保障法で定められた 2022 年までの輸送用再生可能燃料の導入目標達成を目的とするものである．そのため，バイオマス利用技術の中でもバイオ燃料の生産，特にセルロース系原料からのバイオエタノール生産に重点が置かれている．このプログラムは，米国農務省とのバイオマス研究開発イニシアティブ（Biomass Research & Development Initiative：BRDI）などとも連携して進められている．

プログラムの内容は，コア技術の研究開発（原料技術，変換技術），実証と普及（バイオリファイナリー，インフラ），市場転換に分類されており，これらの取り組みを通じ，技術開発目標（後述参照）と，**図 4-59** に示す開発目標時期が掲げられている．これらは 2010 年 3 月のプログラム進捗報告書に記載された目標で，2008 年当初の目標からは全体的に引き下げられている．

現在は，2012 年を当面のターゲットとして，**表 4-55** の分野での研究開発が実施されている．その技術分野は多岐にわたり，農業残渣などの原料の収集技術や原料の前処理技術，エタノール生成技術，熱分解ガス化技術，バイオリファイナリー[9] 技術，エタノール混合ガソリンの配送システム関連技術などが対象となっている．

[9] バイオマス資源を原料として，基礎化学品を製造すること．

表 4-54 FP7 の主要なバイオマスエネルギー関連プロジェクト（2010 年 6 月時点）

プロジェクト名	概要	予算（百万ユーロ）（うち EC 出資分）	期間
NUE-CROPS	作物生産における環境への悪影響を減少させるための，ヨーロッパの主要な食物・飼料・バイオ燃料用作物の栄養効率の改良の研究	9.60（6.00）	2009/5～2014/4
SWEETFUEL	代替燃料用作物としてのスイートソルガムの研究	4.95（2.97）	2009/1～2013/12
ENERGYPOPLAR	エネルギー利用のためのポプラ特性の改良の研究	4.14（2.99）	2008/3～2012/2
AGFOODTRADE	農業と食糧とバイオエネルギーの売買における新たな論点の研究	3.42（2.50）	2009/2～2013/1
LIGNODECO	リグニン・炭水化物を原料とした化学変換の詳細な特製評価による，ブラジルの短周期作物（木材用・非木材用）の前処理最適化の研究	5.02（2.99）	2010/1～2012/12
CANEBIOFUEL	サトウキビのエタノールへの変換の研究	2.49（1.66）	2009/3～2011/2
FUEL-PATH	植物からのバイオ燃料製造を効率化するための病原性微生物の糖化ポテンシャルの開発	2.10（2.10）	2009/1～2013/12
DIBANET	ヨーロッパと中南米における，残さや廃棄物からの持続可能なバイオディーゼル混合燃料製造の研究	4.84（3.73）	2009/7～2012/12
ECODIESEL	様々な原料を用いて改良された FAME 製造のための，温室効果ガス排出最小限の高効率バイオディーゼル燃料の研究	8.99（4.97）	2008/1～2011/12
BIODME	バイオマスからの DME 製造と，輸送用・産業用燃料としての利用の研究	28.26（8.20）	2008/9～2012/8
LED	リグノセルロース系エタノールの実証研究	10.47（8.63）	2009/3～2013/8
BABETHANOL	リグノセルロース系エタノールのより持続可能な開発と製造のための，新たな原料と革新的な変換プロセスの研究	4.30（3.17）	2009/5～2013/4
PLANTPOWER	クリーンで，再生可能で，持続可能で，効率的で，オンサイトでバイオエネルギーを製造する微生物を用いた燃料電池プラントの研究	5.23（4.00）	2009/1～2012/12
ENERCOM	バイオマス残さと下水汚泥からのエネルギー・燃料・肥料のポリジェネレーション・システムの研究	5.20（2.53）	2008/11～2011/11
GLYFINERY	バイオリファイナリーにおけるバイオ液体燃料・バイオエネルギー・グリーンな化学製品の持続可能で統合的な製造の研究	4.97（3.75）	2008/3～2012/2
BEE	バイオエネルギー利用のためのバイオマス資源評価	2.82（1.82）	2008/3～2010/11
CEUBIOM	陸域観測を用いたヨーロッパのバイオエネルギーポテンシャルの分類	1.34（1.34）	2008/3～2010/11
BIOTOP	中南米におけるバイオ燃料の技術的機械と研究ニーズの評価	1.29（0.99）	2008/3～2010/8

出典：EC ホームページより NEDO 作成

「バイオマス複数年プログラム計画」の技術開発目標

- 研究開発を通して，セルロース系バイオ燃料の化石系燃料に対するコスト競争力を高め，エタノールについては，成熟した技術による先進的なプロセスのコストを 2012 年までに 2.62 ドル/ガソリン等価ガロン（55.3 円/L）（1.76 ドル/エタノールガロン（37.1 円/L））とする．
- 2017 年までに，再生可能ガソリンは 2.85 ドル/ガロン（60.2 円/L），再生可能ディーゼルは 2.84 ドル/ガロン（60.0 円/L），再生可能ジェット燃料は 2.76 ドル/ガロン（58.3 円/L）を達成する．
- 2022 年までにバイオ燃料の生産・使用を最大化するための環境（コスト効率的な技術，十分なインフラ，適切な政策，消費者の支持）の形成を支援する．

		2005–2010	2010–2015	2015–2020
コア技術の研究開発	原料コア技術の開発 持続可能な原料生産・収集技術，利用しやすい原料供給の開発・検証		2012原料生産コストを0.39ドル/ガロン(8.2円/L)に低減, 原料調達量1.4億tの検証	2017原料生産コストを0.33ドル/ガロン(6.9円/L)に低減, 原料調達量2.5億tの検証
	変換コア技術の開発 バイオマスからコスト競争力のある液体燃料への変換のための，生化学技術，熱化学技術の開発		2012セルロース系エタノール変換コストを0.92ドル/ガロン(19円/L)に低減	2017セルロース系エタノール変換コストを0.60ドル/ガロン(12円/L)に低減
実証・普及	バイオリファイナリー統合技術の実証・検証 商業的に成立するための性能・コスト目標を達成する統合技術の実証・検証		2014 次世代バイオ燃料の合計 1 億ガロン(37.8 万 kL)生産の実証	先進的技術による先駆的プラントの検証
	バイオ燃料インフラ整備 E10 普及の全国的戦略，一部地域では E85 普及のための地域的戦略		2012 規格開発，E15・E20 の試験	バイオ燃料 240 億ガロン(9,090 万 kL)の配送設備の整備
分野横断	市場転換 市場転換を促進するための効率的なコミュニケーション，政策，パートナーシップの構築		2012 教育・パートナーシップ・政策等による市場転換促進の支援	

2005　2010　2015　2020［年］

図 4-59　バイオマス複数年プログラム計画の技術開発戦略（米国）

出典：“Biomass Multi-Year Program Plan，March 2010”（2010，EERE）より NEDO 作成

現在，エネルギー省では，バイオマスプログラムに基づき，セルロース系原料からバイオ燃料への変換に関する技術開発や，プラントの実証試験が行われている（**表 4-56**）．また，バイオマス研究開発イニシアティブでは，原料栽培に関する研究や，化学品とバイオガスなどの生産に関する研究開発，またバイオマス利用に係る社会経済的評価などが行われている（**表 4-57**）．

さらに，2009 年に景気回復策として制定された米国再生・再投資法でも，バイオ燃料産業振興のため，バイオリファイナリー実証，次世代バイオ燃料，高濃度エタノール利用の各分野に予算が配分された（**表 4-58**）．

表 4-55　現在の研究開発プログラムの目標（米国）

		原料	研究開発プログラムの目標
コア技術の研究開発	原料	農業残さ	2009 年：試作機で乾燥トウモロコシ茎葉と乾燥麦わらの原料の収集技術を検証.
			2012 年：試作機で湿潤トウモロコシ茎葉の原料の収集技術を検証.
		エネルギー作物	2009 年：試作機で乾燥スイッチグラスの原料の収集技術を検証.
			2011 年：試作機で木質系エネルギー作物の原料の収集技術を検証.
			2012 年：試作機で湿潤スイッチグラスの原料の収集技術を検証.
	変換	農業残さ	2012 年：パイロット規模でトウモロコシ茎葉（乾燥／湿潤）の前処理，酵素加水分解，エタノール生成技術を検証.
			2010 年：パイロット規模でトウモロコシ茎葉と麦わらの合成ガスを生成する熱分解ガス化技術を検証.
			2012 年：パイロット規模でトウモロコシ茎葉・麦わらベースの合成ガスから生成した混合アルコールによるエタノールの生産技術を検証.
			2015 年：パイロット規模で農業残さ系バイオマスの熱分解によるガソリン・ディーゼル燃料生産技術を検証.
		エネルギー作物	2017 年：パイロット規模でスイッチグラス（乾燥／湿潤）の前処理，酵素加水分解，エタノール生成技術を検証.
		木質系原料	2009 年：パイロット規模で最低一種類の改質触媒の性能を検証.
			2010 年：パイロット規模で木質系原料からクリーンな合成ガスを生成する熱分解ガス化技術の検証.
			2012 年：パイロット規模で木質系原料ベースの合成ガスから生成した，混合アルコールによるエタノールの生産技術を検証.
			2015 年：パイロット規模で木質系バイオマスの熱分解によるガソリン・ディーゼル燃料生産技術を検証.
実証・普及	統合バイオリファイナリー	トウモロコシ	2012 年：トウモロコシ乾式プラントで，トウモロコシ繊維からの経済的なエタノール生産プロセスを実証・検証.
		農業残さ	2012 年：実証／商業規模で農業残さからのエタノール生産プロセスを実証・検証.
			2012 年：実証／商業規模で農業残さの合成ガスからのエタノール生産プロセスの実証・検証.
		エネルギー作物	2017 年：実証／商業規模でエネルギー作物からのエタノール生産プロセスを実証・検証.
			2017 年：実証／商業規模でエネルギー作物から製造した混合アルコールによる，エタノール生産プロセスを実証・検証.
	インフラ	共通	2012 年：他省庁と連携し，基準の策定と，E15／E20 の送配システム・車両に係る基準の策定と試験を完了.
			2022 年：バイオ燃料 360 億ガロン（約 1.36 億 kL）の輸送・送配容量の確保.

注：「実証」とは，パイロット規模以上のシステムが設計どおりに稼動し，性能目標（個別技術，システム全体として）を全て達成していることを立証すること.
注：「検証」とは，パイロット規模以上で，プロセスにおいて望みどおりの結果と当初の意図を達成していることを確認すること.
出典：“Biomass Multi-Year Program Plan，March 2010”（2010，EERE）より NEDO 作成

表 4-56　現在の研究開発プロジェクト（エネルギー省）

テーマ	概要	事業者，規模
セルロース系原料によるバイオリファイナリーの実証	商用スケールで様々なセルロース系原料（トウモロコシ繊維，廃材，農業残さ，廃棄物等）からエタノール等を生産するバイオリファイナリーの実証.	・Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas, LLC（ミズリー州）76 百万ドル ・BioFire Ethanol, Inc.（カリフォルニア州）40 百万ドル ・Poet（サウスダコタ州）80 百万ドル ・Range Fuels（コロラド州）76 百万ドル
エタノール発酵用微生物の開発	C5 糖・C6 糖双方を効率よく発酵する微生物の開発.	・Cargill Incorporated 4.4 百万ドル ・Verenium 5.3 百万ドル ・E.I. DuPont de nemous & Company 3.7 百万ドル ・Mascoma Corporation 4.9 百万ドル ・Purdue University 5 百万ドル
セルロース系原料の熱化学処理の実証	セルロース系原料（スイッチグラス，トウモロコシ茎，木材等）をガス化処理によりバイオ燃料に変換する技術の実証.	・Emery Energy Company（ユタ州）1.7 百万ドル ・Iowa State University（アイオワ州）2 百万ドル ・Research Triangle Institute（ノースカロライナ州）2 百万ドル ・Southern Research Institute（アラバマ州）2 百万ドル ・Gas Technology Institute 2 百万ドル
小規模セルロース系原料バイオリファイナリーの検証	商用規模の 10%のスケールで，セルロース系原料からのバイオ燃料とバイオマス由来化学品・製品等の生産技術を検証.	・ICM Incorporated（カンザス州）30 百万ドル ・Lignol Innovations Inc（ペンシルバニア州）30 百万ドル ・Pacific Ethanol Inc.（カリフォルニア州）24.3 百万ドル ・NewPage Corp.（オハイオ州）30 百万ドル ・Flambeau River Biofuels（ウィスコンシン州）30 百万ドル ・Verenium Biofuels, Inc.（ルイジアナ州） ・RSE Pulp（メイン州）30 百万ドル ・Ecofin, LLC（ケンタッキー州）30 百万ドル ・Mascoma（テネシー州）25 百万ドル
酵素	セルロース系原料の低コスト糖化酵素技術の開発.	下記合計 70 百万ドルを補助. ・DSM Innovation Center Inc. ・Genencor-a Division of Danisco, USA, Inc. ・Novozymes, Inc. ・Verenium Corporation

出典：EERE ホームページより NEDO 作成

表 4-57　現在の研究開発プロジェクト（農務省・エネルギー省共同）

テーマ	概要	事業者，規模
バイオ燃料，バイオマス由来製品	熱分解ガス化装置設計のための力学モデルの開発	GE Global Research　1.6 百万ドル
	セルロース系糖質のイソブタノール発酵用微生物の開発	Gevo, Inc.　1.8 百万ドル
	広葉樹林バイオマスからの発酵・重合によるポリイタコン酸生産プロセスの開発	Itaconix　1.9 百万ドル
	食品系廃棄物，木質系廃棄物からのバイオガスや，熱・電気の生産技術の実証	Yenkin-Majestic Paint Corporation　1.8 万百万ドル
	セルロース系残さの液体燃料変換のための効率的水素化処理技術の開発	Velocyc, Inc.　2.6 百万ドル
	Biomass to Gasoline 技術の開発	Exelus, Inc　1.2 百万ドル
バイオ燃料開発の分析評価	第二世代バイオ燃料の，エネルギー技術，経済・気候変動政策としての評価分析モデルの開発	Purdue University　0.9 百万ドル
	森林起源のバイオ燃料原料の持続可能性，供給可能性の評価	University of Minnesota　2.7 百万ドル
	森林系残さ，廃棄物等原料によるバイオ燃料生産による，環境面・経済面のライフサイクル評価	Consortium for Research on Renewable Industrial Materials
原料開発	前処理を簡便化する遺伝子組み換えスイッチグラスの開発	Agrivida
	スイッチグラス生産のベストプラクティスの開発，持続可能性の評価	Oklahoma State University
	スイッチグラス管理・収穫のベストプラクティスの開発	The University of Tennessee

出典：DOE プレスリリース（2009/11/12，DOE）より NEDO 作成

表 4-58　現在の研究開発プロジェクト（米国再生・再投資法）

テーマ	概要，規模		
バイオリファイナリー実証	・パイロット～実証規模：	18 箇所	509 百万ドル
	・実証～商用規模：	1 箇所	82 百万ドル
次世代バイオ燃料	・藻類起源バイオ燃料開発実証：		49 百万ドル
	・次世代バイオ燃料生産パスウェイの評価：		35 百万ドル
	・持続可能性に関する研究：		5 百万ドル以上
	・次世代バイオ燃料技術開発：		18 百万ドル
高濃度エタノール利用	・高濃度エタノールが車両に与える影響評価：		16 百万ドル
	・Flex-Fuel Vehicles における E85 燃料効率の最適化：		2 百万ドル
	・給油所の E85 対応：		1 百万ドル

出典："Biomass Program Recovery Act Factsheet"（2010，EERE）より NEDO 作成

3）日本

日本では，バイオマス燃料製造に関連する各省庁や関係機関が相互に連携しつつ独自性を発揮し，研究開発を進めている．例えば，NEDO では，バイオマス燃料製造に関し，**表 4-59** に示す事業およびプロジェクトを進めている．それぞれ，短期，中長期，超長期の各タイムスパンを見据え，複層的な事業およびプロジェクトを展開している．

表 4-59 NEDO のバイオマス燃料関連の事業およびプロジェクトの概要

事業・プロジェクト名称	概 要
戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（平成 22 年度～平成 28 年度）	1．次世代技術開発 「Cool Earth- エネルギー革新技術計画」（平成 20 年 3 月経済産業省）において，2030 年頃の実用化を見据えるバイオマスのガス化及び液体化（BTL），微細藻類由来のバイオ燃料製造技術開発等の次世代技術開発を実施． 2．実用化技術開発 「エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用および化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律」の施行によるガスおよび燃料供給事業者への非化石エネルギー導入義務付けをにらみ，バイオマス由来の気体および液体燃料の円滑な導入に資する技術の実用化技術開発を実施．
バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発（平成 16 年度～平成 24 年度）	バイオマスエネルギーの転換，利用技術の分野において，2015～2030 年頃の実用化が期待される基礎技術「中長期的先導技術開発」を実施．また，バイオマスのエネルギー転換に係る要素技術およびその周辺関連要素技術に関して「転換要素技術開発」を実施． 「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」においては，以下のカテゴリの技術開発を実施． ・バイオマスの収集・運搬・貯蔵技術 ・バイオマスの前処理技術（破砕・乾燥） ・燃料化技術 ・バイオマス燃焼・エネルギー利用技術 ・熱分解ガス化関連技術 ・バイオディーゼル燃料製造関連技術 ・バイオエタノール製造関連技術 ・バイオガス製造関連技術 ・バイオマスエネルギーおよび副産物利用技術

出典：NEDO 作成資料

（2）エタノール発酵

現在，ショ糖でんぷん系資源を用いたエタノール生産技術については実用化されている．サトウキビを原料として大規模生産を行っているブラジルでは，バイオエタノール生産でガソリンと同等の価格競争力がある．

将来的には，日本でもバイオエタノールが価格競争力を持ち，ガソリン代替燃料としての利用拡大が期待されている．そのためには，木質系バイオマスやバガス[10]など農業残渣の非食用および低コストのセルロース系エタノール（第二世代）の実用化とともに，プロセス全体を低コスト化する必要がある．

セルロース系バイオマスの利用のためには，前処理としての糖化技術の確立が必要である．また，発酵後の濃縮，脱水工程，および廃液処理技術も，プラントのエネルギー収支改善やコスト低減のために重要な開発要素である．

日本をはじめ，米国と欧州各国では，セルロース系資源を利用するための実用化技術の開発を精力的に進めている．

低コストでセルロース系資源を得るために，エネルギー作物（草本系資源や早生樹種など）の品種改良や，効率よく栽培，収集，運搬するための技術が開発されている．

セルロース系資源を前処理し，糖化するまでの技術開発については，各国や各研究機関がしの

10 サトウキビの絞りかす

ぎを削っているところである.具体的には,希硫酸加水分解と酵素加水分解を組み合わせた方式,希硫酸二段加水分解方式,濃硫酸加水分解方式,苛性ソーダやアンモニアなどのアルカリ処理,水熱処理,メカノケミカルパルピングなど,物理処理と酵素加水分解を組み合わせた方式など,さまざまな方式が開発されている.酵素を用いる場合,前処理コストで酵素コストが占める比率は高く,酵素の効率的利用に関して研究されている.

発酵では,セルロース系原料に多く含まれる C5 糖を利用することが重要で,C5 糖と C6 糖同時利用などの高効率発酵プロセスが研究されている.

濃縮脱水工程については,従来の共沸蒸留方式ではエネルギー投入が大きいため,省エネルギー化を目指し,膜脱水技術を組み合わせた方法の開発が進んでいる.

廃水処理については,発酵廃液中に含まれる有機物を,メタン発酵法などによって処理する必要がある.また,前処理糖化廃液は,その方式によって排出される廃液の組成が異なるため,例えば硫酸の回収もしくは中和など,それぞれの方式に適した処理方法を適用することが求められる.

1）欧米

欧米では前述した（1）「バイオマス輸送燃料全般」に記したとおり,バイオマス燃料製造に関連する多様な技術開発を総合的に展開しており,特に第二世代エタノールでは,それが有効な方策となっている.

米国では,バイオ燃料全般でいわゆる「ドロップインバイオ燃料」（既存のガソリン,ディーゼル燃料,ジェット燃料などのインフラや車両などをそのまま利用できるバイオ燃料）が志向されており,エタノールに関しては炭化水素にアップグレードする研究が進められている.

2）日本

日本では「バイオマス・ニッポン総合戦略」（2006 年 3 月策定）,「バイオマス活用推進基本計画」（2010 年 12 月閣議決定）をはじめとして,関連省庁（内閣府,総務省,文部科学省,農林水産省,経済産業省,国土交通省,環境省）が連携して,地球温暖化防止や循環型社会の形成などを目的に,バイオマス利用の高度化を実現すべく,さまざまな技術開発や社会実証実験を進めている.

食料との競合や,持続可能な生産と利用,供給安定性と経済性といった中長期的課題を克服するために,産学官の「バイオ燃料技術革新協議会」が設立され,草本系／木質系セルロースの次世代バイオエタノール生産の具体的な導入,コスト目標,技術開発,ロードマップなどを内容とする「バイオ燃料技術革新計画」が 2008 年 3 月に策定されている.この中で,①国内の現存する農林業から発生するものを主体とした原料（稲わらや林地残材の残渣など）による「バイオマス・ニッポンケース」（主に農林水産省が主導）と,②エネルギー政策の観点からガソリン価格との競争力や米国などの開発計画を勘案し,多量に生産が可能な国内外の資源作物を利用し,抜本的な技術革新を目指していく「技術革新ケース」（経済産業省が主導）の双方を内容としている.

バイオ燃料技術革新計画の技術革新ケースでは,年産 10～20 万 kL 規模の工場で 40 円/L を目指すとされている.原料となるバイオマスの効率的な収集や,個別の製造プロセス（前処理,酵素糖化,発酵,濃縮と脱水）についての低コスト化と省エネ化,プロセス全体の統合技術など技術革新が同時に必要とされている.また,2015 年の技術確立後でも,プロセスの開発やバイオマス原料を確保するための農地開発が必要で,直ちに大幅なバイオ燃料の生産が進むことは困難で

あるとしながらも，2020 年までには国産セルロース系エタノール 61 万 kL（原油換算 33 万 kL）が製造可能と試算されている．

セルロース系エタノールの技術開発については，技術開発段階，スケールアップ段階，生産拡大段階とステージを想定し，研究開発が進められている（**図 4-60**）．

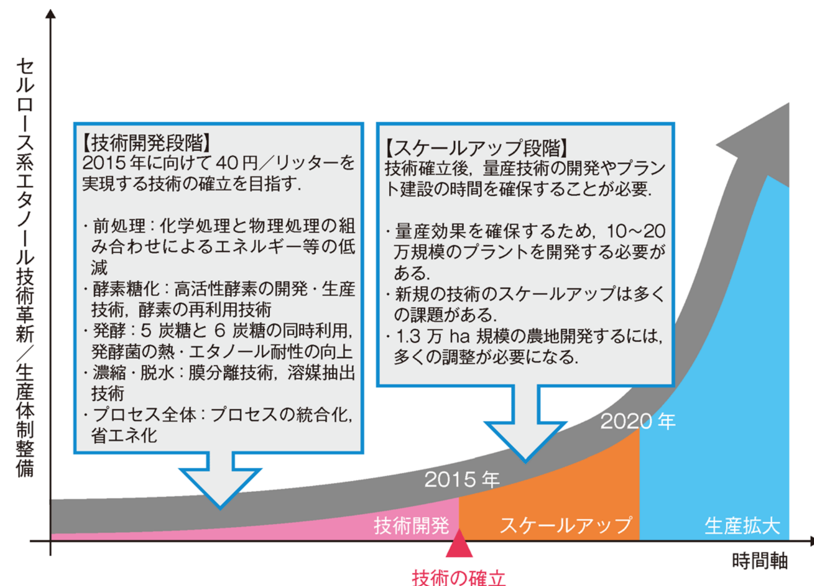


図 4-60　セルロース系エタノール技術革新／生産体制整備計画

出典：「総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会（第 35 回）」（2009，経済産業省）

NEDO の「セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業」（**図 4-60**）では，「バイオ燃料技術革新計画」の技術革新ケース（2015～2020 年でバイオエタノール製造コスト 40 円/L，年産 10～20 万 kL，CO_2 削減率 5 割以上（対ガソリン），化石エネルギー収支比 2 以上）の実現に向けて，食料と競合しない草本系または木質系バイオマス原料からのバイオエタノール生産について，大規模安定供給が可能なセルロース系目的生産バイオマスの栽培からエタノール製造プロセスまでの一貫生産システムを構築し，研究開発を実施することによって環境負荷や経済性などの評価を実施している．具体的には**表 4-60** に示す研究開発などが実施されている．

「バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発事業（先導技術開発）」では，エネルギー転換と総合利用技術の研究開発を行っている．2009 年度からは，2015～2030 年頃に実用化が期待される遺伝子組み換えなどの品種改良技術を利用した，食料と競合しないエネルギー植物の創成を目的とする「エネルギー植物の創成」枠が設けられた．

表 4-60 セルロース系エタノール革新的生産システム開発事業の具体内容

実施者	研究開発の概要
王子ホールディングス 産業技術総合研究所 新日鉄住金エンジニアリング	早生樹からのメカノケミカルパルピング前処理によるエタノール一貫生産システムの開発 【概要】大規模安定供給可能なエタノール生産好適早生樹からの，メカノケミカルパルピング前処理および高温耐性酵母による C6 糖発酵と C5 糖発酵を組合せた，セルロース系目的生産バイオマスからエタノール製造までの高効率一貫生産システムを開発する.
バイオエタノール 革新技術研究組合 国立大学法人東京大学	セルロース系目的生産バイオマスの栽培から低環境負荷前処理技術に基づくエタノール製造プロセスまでの低コスト一貫生産システムの開発 【概要】草本系植物と木質系植物のセルロース系目的生産バイオマスを原料とし，低コスト収穫・運搬・貯蔵技術を用いた周年供給システムと低環境負荷なアンモニア前処理技術を基本として，最適糖化酵素の取得と高度利用，膜を利用した糖化液濃縮，非遺伝子組換え酵母によるエタノール生産などの技術を組合せた大規模安定供給が可能なエタノール一貫生産システムを開発する.

出典：NEDO 作成資料

（3）バイオディーゼル燃料

世界各国でバイオディーゼル燃料が利用されており，エステル交換による方法については実用化されている技術である．エンジン自体の改良が不要であるため，既存のインフラや車両をそのまま利用できる点や，排ガス中の有害物質（硫黄酸化物など）が減少する点など，燃料としての実用性が高く，将来的に利用の拡大が期待されている．各国で適用される転換技術は，技術カテゴリとしてはエステル交換に分類されるものの，欧米では菜種油や大豆油などの油糧作物が用いられ，日本では廃食用油が用いられるといった特色がある．

エステル交換による製造方法については，実用化されているものの，研究開発課題もいくつか残されている．原料油の質によらずバイオディーゼル燃料の品質を一定にする技術の開発や，副次生成物であるグリセリンの処理技術の研究などである．例えば「バイオマスエネルギー転換要素技術開発」で「固体触媒を用いて副産物グリセリンを有効活用するバイオディーゼル燃料製造技術」を過去に実施されていた経緯がある．

また，エステル交換以外の技術として，超臨界メタノールを用いた処理では，高温および高圧条件に耐え得る実用化装置の開発が進められている．さらに，幅広い原料油脂に対応できる水素化処理によるバイオディーゼル燃料製造方法も存在する．この方法では，目的の分子量に低分子化することが困難などの研究開発課題もあり，処理技術の研究が進められている．また，経済性および二酸化炭素固定という点からも，水素の低コストでの安定供給が必要であるという点も課題の一つである．

（4）藻類由来のバイオ燃料

藻類由来のバイオ燃料は，主にコスト面での課題などから実用化には至っていないものの，単位面積当たりのエネルギー収率の高さや，食料生産と競合しない点，植物栽培に適さない土地でも利用でき，二酸化炭素固定への寄与率が高いといった点から，将来的に期待されている技術である．エネルギー収率（単位面積から収穫されるバイオマスを原料として生産される燃料量）の高さは，大豆やパーム油と比較して 10 倍以上と考えられている．

今後は製造コストの低減に向け，油分生産性の高い微細藻類の探索や，低コストで効率的な培養および油分抽出技術の研究が進められている．特に，藻類の場合，その生理および生態学的な特徴から，含水率が高く高濃度な糖類や油脂類を得ることが困難なため，糖類，油脂類の回収や水分の除去に係る工程の低コスト化が課題である．

1）欧米

表 4-61 に，欧州と日本の主要機関での，藻類によるバイオ燃料生産への取り組み状況を示す．これらから，米国は，国立研究所，大学，産業界による積極的な取り組みが行われているのに対し，日本や欧州では一部の機関での研究開発に限られていることがわかる．

表 4-61　欧米諸国での藻類由来のバイオ燃料製造技術への取り組み状況例

国	研究機関	取組み概要
欧州（オランダ）	AlgaeLink 社 KLM オランダ航空	・フォトバイオリアクターによる最適な藻類増殖技術の開発を行っている. ・海運用として，船上で藻類を培養，燃料生産する技術についても構想を有する.
米国	Cellana 社	・海水で培養する微細藻類から燃料や飼料を大規模に生産する方法について研究.
	国立再生可能エネルギー研究所（NREL）	・1978 年から 1996 年にかけて藻から再生可能な輸送燃料をうる研究を実施し，燃料生産に適した 300 種の緑色藻と珪藻植物を探索. ・近年，藻類による燃料生産に係る研究が再開された.
	テキサス大学	・日光と塩水の条件下で，軟質セルロース，グルコース，スクロースを分泌する藻類の開発に成功. ・開発した藻類は軟質のゲル状であり，分解が容易であるという特性も有している.
	カリフォルニア大学サンディエゴ校スクリプス海洋研究所	・エタノール生産にも，バイオディーゼル燃料生産にも適している藻類として，1 日で 2 倍に増殖する藻類（50 %以上が脂質とでんぷん質）の発見に成功.
	アリゾナ州立大学	・海藻を利用した自動車用バイオディーゼル燃料，軍用ジェット燃料の開発に取り組む. ・4 万株以上の既知の単細胞生物の油脂生産能力を調査し，単位面積あたり大豆の 100 倍の生産能力を有する藻類を発見.
	US Sustainable Energy 社	・20 ポンド（約 9 kg）の藻類を用いたバイオ燃料製造試験を行っており，原油 5 %，水分 40 %を含んだバイオ燃料から発火性燃料の生成に成功している.
	PetrosSun 社	・テキサス湾沿岸の 1,100 エーカー（約 445 ha）の塩水池からなる藻類農場を開設し，4.4 万ガロン（約 170 kL）の藻類油，110 百万ポンド（約 50,000 t）のバイオマスを生産する計画. ・バイオジェット燃料の開発も実施予定.

出典：「米国における藻類のバイオマス活用の現状」NEDO 海外レポート（2008，2010，NEDO）
「藻類起源のバイオ燃料製造法ならびに市場動向の調査」（2008，NEDO・大阪府立大学）より作成

2）日本

表 4-62 には，日本の主要機関での，藻類によるバイオ燃料生産への取り組み状況を示す．大学を中心とした基礎研究が中心になっている．

表 4-62　国内での藻類由来のバイオ燃料製造技術への取り組み状況例

研究機関	取組み概要
筑波大学 生命環境科学研究科	・緑藻の一種「ボトリオコッカス」からバイオ燃料の抽出実験を行っている．現段階では「沖縄株」などが有望株されており，乾燥重量 45%の油生産が可能とされる． ・品種改良，新株の探索等で高効率化，低コスト化が目指されている．
デンソー 中央大学	・NEDO「バイオマスエネルギー先導技術研究開発」の研究委託として，微細藻類シュードコリシスチスを用い，ゲノム情報を利用した炭化水素生産性向上を目指している．
慶應義塾大学 先端生命科学研究所	・微細藻類を利用し，効率よくオイルを産生させるため，品種改良や培養条件の最適化によりオイル産生能力を高める研究を実施．デンソーとの共同研究により，高効率な培養槽の研究，細胞内に蓄積したオイル抽出法の研究も実施している．

出典：「藻類起源のバイオ燃料製造法ならびに市場動向の調査」（2008，NEDO・大阪府立大学）などより作成

（5）BTL（ガス化液体燃料）

BTL は，多様なバイオマス資源を利用できることなどから，軽油や航空機燃料の代替燃料として期待されている．セルロース系エタノールがリグニンを原料にできないのに対し，BTL はそれが可能であるため，変換効率がエタノールより高くなることが特長である．

1）欧米

前述した特徴から，BTL の技術開発に取り組む企業も多く，ドイツ，ノルウェー，米国などで，実証試験が進められている．

欧米を中心とした（一部，中国を含む），研究開発動向を**表 4-63** に示す．

2）日本

日本でも，大学，民間事業者，公的研究機関など多様な主体が BTL によるバイオディーゼル燃料に関する研究開発に取り組んでいる（**表 4-64**）．

4.4.5 世界のビジネス動向

バイオマス輸送燃料の分野では，第一世代エタノールや，エステル交換によるバイオディーゼル燃料製造など成熟した技術に関して，日本企業の参入余地は考えにくい．そこで，今後拡大が期待される，第二世代エタノール（セルロース系資源を原料としたエタノール製造），藻類由来バイオ燃料製造，BTL によるバイオディーゼル燃料製造の 3 つの分野について，立地済みのプロジェクトと建設中のプロジェクトを取り上げ，これらの分野のビジネス動向を概観する．

（1）第二世代エタノール

第二世代エタノール製造では，米国での立地計画などの件数が多いことと，原料となるバイオマスが，農業残渣，都市廃棄物，廃材など多様であることが特徴として挙げられる．また，エタノールを製造するだけでなく，エタノール製造時の残渣などを利用して発電することも，製造時のエネルギー効率の向上の観点などから重視されていると推察される．

次に，セルロース系エタノール製造プラントについて，地域別（欧州，北米，南米，アジア），生産量順（計画生産量を把握できるものは計画生産量），事業主体別に立地動向や計画を整理した結果を**表 4-65** 及び**表 4-66** に示す．関連する研究および技術開発が進んでいる欧米での立地が多くなっていること，規模拡大を計画しているプラントが中国に複数存在することが特徴として挙げられる．

表 4-63　実証などが進むバイオマス変換技術の技術開発の例（BTL）

技術分類	主要な事例・企業	技術の段階
熱分解ガス化 ＋ FT 合成	・米 国：Flambeau River Biofuels LLC（9 百 万 ガ ロ ン / 年（34 千 kL/ 年），50 百 万 ポ ン ド / 年（25,000 t/ 年）wax，実 証 段 階）CARBONA ・フィンランド：NSE Biofuels Oy（100 0000 t/ 年 wax，実証段階）NESTE OIL, Vapoi, VTT ・ドイツ：CHOREN Industries GmbH 2008 年 4 月商業プラント完成．年産 18,000 kL，木質原料 6.5 万 t． ・ドイツ：Lurgi ・スウェーデン：Vernamo, Vaxjo	実証段階 ～実用化段階
熱分解ガス化 ＋エタノール等合成	・米国：Range Fuels Inc.，実証～実用化段階（1.87 百万ガロン（エタノール : メタノール =1:1）/ 年（7,000 kL），2010 年商用開始予定） ・カナダ：Enerkem，実証～実用化段階（5,000 kL/ 年のエタノール，2010 年春に操業開始予定（当初はメタノール，続いてエタノールの予定）） ・ドイツ：Lurgi	実証段階 ～実用化段階
熱分解ガス化 ＋ DME 合成	・スウェーデン：CHEMREC, VOLVO ・中華人民共和国：中国科学研究院	実証段階
熱分解ガス化 ＋バイオ SNG （合成ガス）合成	・オーストリア：Bio-SNG プロジェクト（1 MW SNG，実証段階（商用段階で 20-200 MW SNG を予定）） ・オランダ：ECN/HVC プロジェクト，実証段階（20MW コージェネレーション，2012 年実証開始を予定） ・ドイツ：Lurgi ・スウェーデン：Goteborg Energi	実証段階

注：「ガス化＋バイオ SNG（合成ガス）合成」は液体燃料製造ではないが，類似技術のため併せて記載した．
出典：European Biofuel，European Biofuels Technology Platform，各社ホームページなどより NEDO 作成

表 4-64　実証などが進むバイオマス変換技術の技術開発の例（BTL）

技術分類	主要な事例・企業	技術の段階
熱分解ガス化 ＋ FT 合成	・産業技術総合研究所（1.6 L/ 日，技術開発段階（固定床ガス化炉，ベンチスケール）） ・富山大学椿研究室（合成触媒の研究）　合成ガスを合成触媒を通過させることにより，通常よりも短い工程で FT 合成を行うことを目的としている．	実証段階
熱分解ガス化 ＋エタノール等合成	・三菱重工業，中部電力，産業技術総合研究所（木質系バイオマス 2t/ 日，メタノール），実証～実用化段階 ・長崎総合科学大学坂井客員教授および東京農業大学市川研究室（触媒の研究）　浮遊外熱式ガス化方式とエタノールを合成する触媒を接続させて，直接エタノールを合成ガスから合成することを目的としている．	実証段階 ～実用化段階
熱分解ガス化 ＋ DME 合成	・岩谷産業，産業技術総合研究所（小規模，実証段階） ・富山大学椿研究室（カプセル触媒の研究）　合成ガスをカプセル触媒を通過させることにより，効率的に DME 合成を行うことを目的としている． ・マイクロエナジー社　電気加熱式でガス化を行った後，触媒にて DME を合成し，軽油代替燃料を製造する取組みを行った．	研究開発段階

出典：富山大学椿研究室ホームページ，各社ホームページなどより NEDO 作成

表 4-65　セルロース系エタノール製造プラントの立地動向（企業別）

本社所在地域	企業名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	生産量[千 kL]
欧州	Borregard （ノルウェー）	ノルウェー（Sarpsborg）	廃木材，農業廃棄物	2011 年：20
	Inbicon （デンマーク）	デンマーク（Kalundborg/Zealand）	わら	2009 年：5.4
	BP （英国）	米国（Jennings/Louisiana） （A cellulosic demonstration facility）	サトウキビ残さ，廃木材	2009 年：5.3
	Abengoa Bioenergy （英国）	スペイン（Balbilafuente/Salamanca）	小麦・トウモロコシ残さ	2009 年：5
		米国（York/Nebraska）	−	2007 年：0.1
	TMO Renewables Ltd （英国）	英国（Guildford/South East England）	DDG（Distillers Dried Grains：醸造用乾燥酵母によるセルロース系原料）	2008 年：5
	Beta Renewables （Chemtex/Mossi & Ghisolfi（M&G），TPG Capital） （イタリア）	イタリア（Tortona, Alessandria/Piedmont）	ダンチク（イネ科の多年草），麦わら	2009 年：0.379
	Weyland BioEthanol A/S （ノルウェー）	ノルウェー（Bergen） 2010 年：0.2	木材，農業残さ	−
北米	Western Biomass Energy LLC（KL Energy） （米国）	米国（Upton/Wyoming）	針葉樹，廃木材	2007 年：5.7
	Stan Mayfield Biorefinery Pilot Plant （米国）	米国（Perry/Florida）	農業残さ	2012 年：1
	DuPont Danisco Cellulosic Ethanol （米国） Genera Energy LLC （米国）	米国（Vonore/Tennessee） （Cellulosic Demonstration Facility）	トウモロコシ残さ	2010 年：0.9
	ZeaChem Inc. （米国）	米国（Boardman/Oregon）	農業残さ，ポプラの木	2012 年：0.9
	Mascoma Corp. （米国）	米国（Rome/New York）	木質系バイオマス	2009 年：0.8
	AE Biofuels Inc. （米国）	米国（Butte/Montana）	トウモロコシ残さ	2008 年：0.6
	Poet LLC （米国）	米国（Scotland/South Dakota）	トウモロコシ残さ	2009 年：0.1
	Enerkem Corp （カナダ）	カナダ（Westbury/Quebec）	都市廃棄物	2009 年：5
	Iogen Energy （カナダ）	カナダ（Ottawa/Ontario）	わら	2007 年：2

本社所在地域	企業名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	生産量[千 kL]
南米	Centro de Tecnologia Canavieira/Cane Technology Center (CTC) （ブラジル）	ブラジル（Piracicaba/Sao Paulo）	サトウキビ残さ	2007 年：0.3
アジア	COFCO Biochemical Energy (Zhaodong) Co., Ltd. （中国）	中国（Zhaodong/Heilongjiang）	トウモロコシ残さ	2007 年：0.6 2013 年：63 2014 年：125
	Tian Guan Fuel Ethanol Co., CNPC （中国）	中国（Nanyang/Henan）	わら	2007 年：6 2011 年：12
	DINS 堺 （日本）	日本（堺市・大阪府）	廃木材	2007 年：1.4

出典：F.O. Licht 社データより NEDO 作成

表 4-66　セルロース系エタノール製造プラントの立地計画等（企業別）

本社所在地域	事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	生産量[千 kL]
欧州	Beta Renewables (Chemtex/Mossi & Ghisolfi (M&G), TPG Capital) （イタリア・米国）	Crescentino, Piedmont, イタリア	麦わら	2012 年：50
	BioGasol （デンマーク）	Bornholm, デンマーク	－	5.2
米国	Abengoa Bioenergy （米国）	Hugoton, Kansas, 米国	トウモロコシ葉茎，麦わら，トウモロコシ残さ，スイッチグラス	2013 年：87
		Atlantiques, フランス	トウモロコシ残さ，森林残さ	80
		Madison, Illinois, 米国	－	
	American Process Inc., Valero Energy Corp. （米国）	Thomaston, Georgia, 米国	パルプ	83.3
	Agresti Biofuels （米国）	Pike County, Kentucky, 米国	一般廃棄物	75.7
	Blue Fire Renewables Inc. （米国）	Fulton, Mississippi, 米国	廃材	71.9
	AEE Distilleries （米国）	New Milford, Connecticut, 米国	森林残さ，おがくず	56.8
	AE Advanced Fuels Keyes Inc. (AE Biofuels Inc.) (ex-Cilion Inc. (Western Milling, Khosla Ventures)) （米国）	Keyes, California, 米国	農業残さ	3.8
	American Process Inc. (API) （米国）	Alpena, Michigan, 米国	加工済木材	2012 年：3.4

本社所在地域	事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	生産量 [千 kL]
米国	Archer Daniels Midland Co.（ADM）（米国）	Decatur, Illinois, 米国	−	
	American Jianye Greentech Holdings Ltd（米国）	Xiangzhou, Guangxi, 中国	都市廃棄物	
日本	Biomaterial in Tokyo, コスモ石油（日本）	日本	木材，わら	

注：生産量は表示単位未満については記載していない.
出典：F.O. Licht 社データより NEDO 作成

（2）藻類由来バイオ燃料

藻類由来バイオ燃料製造プラントは，**表 4-67** に示すとおり，現状では少数となっている.

表 4-67 藻類由来バイオ燃料製造プラントの立地動向（企業別）

事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	燃料種類等
Solazyme Inc.（米国）	San Fransisco, 米国	藻類	バイオディーゼル バイオジェット
Algae.Tec（豪州）	Nowra, 豪州	藻類	バイオディーゼル

出典：F.O. Licht 社データより NEDO 作成

表 4-68 藻類由来バイオ燃料製造プラントの立地計画等（企業別）

事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	燃料種類等
Joule Unlimited Inc.（米国）	Hobbs/New Mexico, 米国	藻類	エタノール：473 千 kL 水素化バイオディーゼル：284 kt
Algenol Biofuels Inc.（米国）	米国	藻類	エタノール：0.4 千 kL
	Puerto Libertad/Sonora, メキシコ	藻類	エタノール
Green Star Products（米国）	Utah, 米国	藻類	バイオディーゼル
BioProcess Algae LLC, Green Plains Renewable Energy Inc.（米国）	Shenandoah ,Iowa, 米国	藻類	エタノール
Aurora Algae（米国）	Vero Beach,Florida, 米国	藻類	バイオディーゼル
	Karratha,Western Australia, 米国	藻類	バイオディーゼル
Sapphire Energy Inc.（米国）	Columbus,New Mexico, 米国	藻類	−
Algae Bioenergy Solutions LLC, BARD Holding Inc.（米国）	Augusta,Georgia, 米国	藻類	−
Kumho Petrochemicak（韓国）	韓国	藻類	バイオディーゼル
Algae.Tec（豪州） Holcim（スリランカ）	スリランカ	藻類	−
Algae.Tec,（豪州） Kerui Group Holding Ltd.（中国）	Dongying,Shandong, 中国	藻類	−

注：生産量は表示単位未満については記載していない.
出典：F.O. Licht 社データより NEDO 作成

米国を中心として，藻類由来バイオディーゼル燃料製造プラントの立地計画が進んでいる．Joule Unlimited 社の例を除けば小規模であり，商用化が本格化するまでには時間を要する見込みである（**表 4-68**）．

（3）BTL（ガス化液体燃料製造）

BTL のプラント立地実績は現状，**表 4-69** に示すとおり，少数となっている．

表 4-69　BTL プラントの立地動向（企業別）

事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	燃料種類等
Choren Industries GmbH（ドイツ）	Freiberg/Saxony, ドイツ	木質系バイオマス	BTL ディーゼル（2008 年 ,16kt）
Stora Enso, Neste Oil（フィンランド）	Varkaus/Savonian, フィンランド	再生可能資源	BTL ディーゼル（2009 年）
KiOR Inc.（米国）	Houston/Texas, 米国	農業残さ	バイオガソリン

注：Choren Industries 社は，2012 年 2 月 9 日に Linde Engineering Dresden 社へ売却された．
出典：F.O. Licht 社データより NEDO 作成

表 4-70 に BTL のプラント立地計画などを示す．BTL については，米国だけでなく，バイオディーゼル燃料の利用が普及している欧州でも多くのプロジェクトが計画されている．**表 4-70** の「生産量」欄に示すとおり，製造されるバイオ燃料は軽油代替だけでなく，ガソリンやジェット燃料（ケロシン）などの代替燃料も含まれるケースがある．

表 4-70　BTL プラントの立地計画等（企業別）

事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	燃料種類等
Total, Sofiproteol, IFP EN, Axens, ThyssenKrupp（フランス）	Dunkerque/Nord, フランス	－	バイオディーゼル：200 kt（22 万 kL）バイオジェット燃料
Choren Industries GmbH（ドイツ）	Schwedt/Brandenburg, ドイツ	木材	バイオディーゼル：200 kt（22 万 kL）
Syndiesel（CEA/French government, Air Liquide, CNIM）（フランス）	Bure-Saudron/Meuse, フランス	木材	バイオディーゼル：23 kt（2.5 万 kL）（2014 年）
UPM-Kymmene（フィンランド）	Papeterie Stracel , Strasbourg, Alsace, フランス	木材	バイオディーゼル バイオガソリン
Clearfuels Technology Inc.（米国）	Commerce City, Colorado, 米国	木材	バイオディーゼル
Sundrop Fuels（米国）	Alexandria/ Louisiana, 米国	木質廃材	バイオガソリン：140 kt（18 万 kL）
Clearfuels Technology Inc., Hughes Hardwood（米国）	Collinwood/Tenessee, 米国	木材	バイオディーゼル：50 kt（5.5 万 kL）
Rentech Inc.（米国）	Rialto/California, 米国	－	バイオディーゼル：25 kt（2.7 万 kL）

事業者名（本社所在国）	プラント立地（市 / 州）	原料となるバイオマス	燃料種類等
Integrated Energy Partners Inc.（米国）	Jay/Florida, 米国	カメリナ（アブラナ科），綿実，都市廃棄物	バイオエタノール：1,300 kL バイオディーゼル：10 kt バイオジェット燃料：28 kt（3.1 万 kL）
Terrabon（米国）	Port Arthur/Texas, 米国	都市廃棄物	バイオガソリン：4 kt（2012 年）
Primus Green Energy（米国）	Pennsylvania, 米国	木質ペレット，天然ガス	バイオガソリン
KiOR Inc.（米国）	Columbus/Mississippi, 米国	木質パルプ	バイオガソリン
CORE BioFuel（カナダ）	British Columbia, カナダ	木質パルプ	バイオガソリン
Haldor Topsoe Inc.（米国）	Des Plaines/Illinois, 米国	木材	バイオガソリン

出典：F.O. Licht データより NEDO 作成

4.5 今後に向けた課題

バイオマスエネルギーは，太陽光発電や風力発電と比べ，設置すればエネルギーを発生できるものではなく，太陽の恵みと手間を掛けて育てたバイオマスを収穫して運搬し，燃料に加工（必要に応じて含水率の調整をするための乾燥工程などを含む）した上で，エネルギーに変換して利用するものである．他の再生可能エネルギーと比べて，エネルギー源にコストが掛かっていることが大きな違いである．唯一，廃棄物系バイオマスが前工程を省かれているため，逆有償での扱いとなる．燃料として貯蔵が可能であるバイオマスエネルギー利用では，天候に左右されず，熱や電力の需要に合わせたエネルギーの変換および供給が可能である．

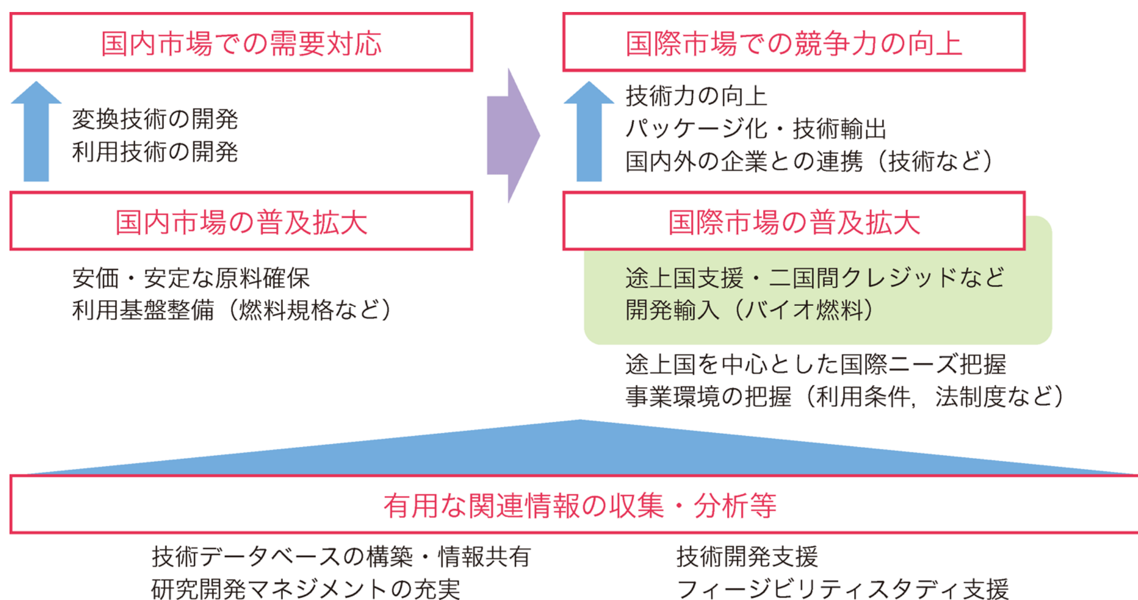


図 4-61　バイオマス資源のエネルギー変換・利用に関する国内外市場での事業展開に関する課題の構造イメージ

また，バイオマスエネルギー利用に関しては，熱や電力の需要の少ない中小規模の地産地消と大規模化による効率および経済製の向上目指した広域大規模化の二極化の方向性がある．ある程度のエリアで，必要量の収集運搬が可能で，大規模なエネルギー変換であれば，コスト的にも採算がとれる場合が多い．石炭火力発電所での混焼などもこの部類に入る．

このような背景からバイオマスエネルギー利用の今後に向けた課題は，バイオマス資源のエネルギーへの変換および利用技術だけでなく，原料の収集，製造される燃料の性状の調整や規格，持続可能性基準など，多様な観点で取り組む必要がある．加えて，地域特性に応じた地道な普及促進を念頭に置く必要もあるのがバイオマスエネルギーの特徴でもある．バイオマス資源のエネルギー変換および利用機器の展開に関する個々の課題の関連を**図 4-61** に示し，これらについて詳細を後述する．

4.5.1 国内市場の拡大とその市場への対応に関する課題

日本には四季があり，また地域特性から，バイオマス資源の収穫やエネルギー利用で地域格差が多いのが実情である．このため，バイオマス資源の利用に当たっては，安価，安定，大量の原料収集を前提にした場合と，地産地消レベルでの課題を変換および利用技術以外の観点を含めて整理した．

（1）安価・安定的な原材料確保

日本国内で，バイオマス資源のエネルギー利用をさらに普及するためには，資源調達から利用までのシステム全体の低コスト化を目指すことが重要である．効率的であり低コストで資源を収集する社会システムの構築や，エネルギー利用の際に生じる廃熱や副産物の有効活用の推進などが挙げられる．

木質系バイオマスを活用する場合，未利用残材まで利用するには，林道や路網の整備，林業機械の効果的な利用を進め，原料の収集運搬コストの低減が必要で，そのための日本の特性や地域に応じた林業機械などの開発およびシステム化も有効な手段といえる．

バイオマス資源のエネルギー利用に関して，利用するバイオマス資源の種類や利用資源の多様化への対応のための技術開発，高効率化および低コスト化のための新たな変換技術の開発などが進められているものの，地域特性による差異が大きいこともエネルギーシステムを構築する上で課題となっている．また，FIT による発電事業でも，燃料として大量に安定して確保できることが事業要件となるが，燃料としてのバイオマスの確保や収集運搬距離も，事業を推進する上での設備費や変動費の検討で重要な要因となる．さらに最も効率がよいとされている熱利用では，必ずしも適切な利用設備が付随しているとは限らず，バイオマスエネルギーを普及促進する上で多面的な検討が必要である．そのため，システムの導入要件の整備や変換技術の展開の推進が普及促進につながり，質的および量的拡大につながると見込まれる．

（2）利用基盤整備

バイオマスエネルギーの導入を拡大するためには，エネルギー利用の原料となるバイオマス資源の安価かつ安定的な調達方法の確立が必要である．ただ，木質ペレットなどに関する合理的な燃料規格の策定は，変換技術の開発推進や普及拡大のためにも重要であり，利用基盤の整備とし

て早期に着手が必要である．

木質ペレットやブリケットなど熱利用向け固体バイオマス燃料の発熱量，残渣率，バイオエタノール，バイオディーゼル，バイオガスなど輸送燃料の各種品質項目に関する規格を，利用者の安全の確保やバイオマス資源のエネルギー利用の普及拡大の観点から策定することが必要である．輸送燃料のバイオマス資源由来燃料と化石資源由来燃料の混合比率などについては，前述した利用技術の変化に応じて適切に見直すことが必要である．

しかし，既に存在している流通システムに即応できる燃料化が最も近道であり，後述する輸送用燃料などを含め，利用基盤と合わせた技術開発として，目標を見誤らないようにする必要がある．

（3）エネルギー変換・利用技術

1）発電

ボイラ，蒸気タービン，発電機などの基本技術はおおむね成熟しているものの，バイオマス施設の中小型設備に関しては，これまでコスト的に見合わなかったことから，それほど商品化が進んでいないのが実態である．大型設備も含めてさらなるコストダウンが望まれる．

石炭火力発電所のバイオマス混焼設備の導入拡大，既存設備でも受け入れ可能な燃料変換技術としてのバイオマス混焼率の増大も課題の一つである．そのための半炭化技術や既存のインフラに併せた燃料変換（LPG など）によって，輸送や利用の効率化を加味した燃料製造なども大事な要件である．

熱分解ガス化発電に関しては，技術的には実用化域に近いものの，商用設備として導入するためには，設備導入費や運転保守費を含めてさらなる低コスト化が必要である．ガス化された可燃ガスは燃料として貯蔵でき，燃焼量のコントロールが比較的容易であるというメリットを活かすために，ガス化の安定性と信頼性とともに，低コスト化を実現することが重要である．

バイオガス発電については，ガスエンジンコージェネレーションでの燃料に要求される不純物の除去など，制約に応じた精製設備の設置といったコスト構造的に厳しい面があり，さらなる簡素化やコストダウンが求められる．バイオガスの精製による高濃度化などの技術も求められる．

また，複数のバイオマスをメタン発酵の原料として利用することが技術的にまた立地的に可能有効である場合もあり，異なる種類のバイオマスを効率的に発酵する技術やコストダウンが期待される．

一方，バイオマスエネルギー変換技術は海外から導入された技術や，海外製品という例も少なからずあるため，国内技術による製品開発も期待される．

バイオマス資源を燃料とした発電によるエネルギー利用では，太陽光発電や風力発電など他の再生可能エネルギーと比べ，高負荷での安定運転が可能であることや，ベース電源にもなり得ること，負荷追従が容易であることなどの利点がある．そのため，スマートグリッドへの組み込みなど，後述する熱利用と合わせた総合的なシステムとしての活用の模索も重要となる．

2）熱利用

日本は，四季の関係で暖房需要が限られており，かつ地域較差も大きく，ヨーロッパのようには熱利用が進みにくいのが実情である．加えて，夏期や中間期での冷房需要などの必要性から，安定的に熱需要がある工場などでの利用を除き，熱利用のシステム構成は複雑である．

熱供給事業など大型化による高効率化なども話題に上るが，このような暖房需要や冷熱需要による設備構成の高コスト化の問題や，熱供給事業法などの制約によって，事業化できる地域は人口や熱需要が密集化している都市部での実用化にとどまり，バイオマスエネルギー利用の実績は限定的といえる．

熱利用のもう一つの課題は，暖房需要だけではなく，設備利用率の高水準化が難しいことにある．発電によるエネルギー利用は，電力系統に接続することによって，ほぼ安定的に無限の需要が存在し，操業に見合った発電をしても問題がない．しかし，熱利用は直接配管でつながれた需要家の需要に応じてのみ使われる．さらに，日中のみの利用に限定されるなど，総じて設備利用率が低い．工場負荷などで 24 時間操業，週末起動停止（Weekly Start and Stop : WSS）であれば効果的な利用であるが，日中のみの利用で日間起動停止（Daily Start and Stop : DSS）運用する場合は，設備の昇温や降温など機器の寿命やメンテナンスに与える影響も大きく，ランニングコストの低減につながらない．

熱需要の近傍に立地あるいは施設を誘致し，捨てられている廃熱を有効利用するなど，インフラを考慮した種々の工夫やシステムの構築が重要な課題であり，今後はモデルケースとしての実証などを再検証する必要がある．

また，利用機器の低コスト化と高効率化に加え，ペレットやブリケットなど燃料の特性に応じた投入や残渣処理の容易さなど，産業，業務，家庭，エネルギー転換の各利用部門での利用の工夫や製品の改良も求められる．

3）輸送燃料

食糧競合などの観点から，第一世代エタノール製造や，エステル交換によるバイオディーゼル製造は，対象原料が限定され，持続可能性を考慮した際の資源制約などの観点から推進されていない．また，第一世代エタノールでは米国とブラジルが，エステル交換によるバイオディーゼル製造では欧州やアジアが先行しており，既に市場としても成熟している．

現在，2020 年の商用化を目指して第二世代エタノール製造を，2030 年頃を目指して BTL ディーゼル燃料製造（BTL ガソリン製造）と微細藻類由来のバイオ燃料製造の技術開発が進められている．また，欧米をはじめ，バイオマスジェット燃料への関心が高まり，航空機メーカーや航空会社とも連携して，実機による試験も行われるようになってきている．

これらは，エネルギー製造技術だけでなく，原料製造などの上流から利用段階の下流まで，社会システム全体としての連携性を十分に念頭に置くことが必須であるが，製造コストとの両立を余儀なくされており，技術開発は多方面にわたる配慮が必要である．

加えて，製造された輸送燃料を供給するためのインフラや，輸送燃料を利用する車両や機器，燃料規格への適合なども併せて進める必要があり，今後の開発が期待される．導入普及に対する政策面からの方針策定，基準などの整備も急がれる．

（4）メンテナンス体制などの整備

メンテナンスは，常にランニングコストに直結したコスト要因である．設備機器の納入後の運用段階では，メンテナンスフリー化とともに，実際にプラントの維持管理に当たる運転員にプラントの運用ノウハウを身に付けさせるまでの人材育成支援が求められるが，併せて故障時やトラブル時の修理対応，交換部品のデリバリーなどのサービスをタイムリーに対応できるよう，サー

ビスネットワークを構築することが必要である．しかし，地域地産での小規模分散型では，メンテンス体制の構築は，機器の供給側にとってかなりの負担となる．アフターサービスが競争力の源泉になり得る場合，納入エリアのメンテナンスを担当する人材の育成だけでもよいが，設備機器全体を一括でメンテナンスできるサービス体制をそれぞれの町や村で設置することも方法の一つである．

そのためには，機器供給メーカーや設備のプラントエンジニアリング会社の出先での融合，現地関係者の積極的な関与など，今後は地域中心での展開も必要となる．

総合的な予防保全を行うことでもコストを下げることが可能で，持続的に施設が運営されていくためにも，改めて考える必要がある．

（5）バイオマスエネルギーシステムの構築に向けて

バイオマスエネルギー利用は，幅広いバイオマス種，変換技術，地域特性の違いなどから，導入システムの最適となるモデルが一義的に決まらない．技術的な研究開発だけでなく，バイオマス資源の調達から，前処理，エネルギー変換，燃料などの供給，熱利用機器など，バイオマス資源のエネルギー利用の上流から下流までのシステム要件の構築が急務である．特に，補助金に頼らずバイオマスエネルギー利用設備としての実現可能性を高めるためには，FS／エンジニアリング，シミュレーション，実証研究を経て，データベースの構築を引き続き実施し，モデル例を明示することが重要と考える．

4.5.2 国際競争に関する課題

バイオマスエネルギー変換および利用機器分野の技術開発，市場参入については一部の市場あるいは一部の分野で，日本企業より欧米系企業が先行していることは否めない．日本として狙うべき市場や有望な分野を見極めつつ，欧米企業に対する優位性を確保するための国際競争戦略を明確化する必要がある．

海外市場への進出に当たっては，国内需要に対応する中で培われた変換および利用技術を武器に，国際市場での競争力を向上した上で，さらに積極的に市場を開拓および拡大することによって，国際競争でより優位なポジションを確保することが期待される．普及拡大および市場開拓の具体的な内容としては，途上国支援と二国間クレジットなどの案件形成，バイオ燃料に係る開発輸入などが挙げられる．

国際競争での競争力の源泉は，国内市場の拡大への対応で培われた技術力の向上や，バイオマス資源のエネルギー変換および利用技術のパッケージ化，国内外の企業との連携，国際市場への対応のために具備すべき条件の明確化のための途上国ニーズと事業環境（バイオマス資源の種類と性状，環境面などでの法規制など）の把握などに求めることができる．

（1）パッケージ化および技術輸出

バイオガス利用機器などをインフラの整備された地域に導入する場合，周辺技術を含めたシステムのパッケージでの市場導入をアジア圏で行うことが戦略となる．また，技術輸出では，官民が一体となったプロモーションを展開することも必要である．東南アジアのように豊富なバイオマス資源に恵まれている地域に対し，その資源に着目した海外からのバイオマスプラントのイン

フラ輸出を各国が官民挙げて取り組んでいる．

ASEAN 地域で，簡易型メタン発酵槽は，韓国や中国の他にドイツの企業から積極的な提案がある．また，アフリカ地域では，古くから結びつきの強い EU 諸国と中国が売り込んでいる．こうした状況の中，行政の力が強い地域では，日本政府と民間企業が連携し，現地の行政機関を巻き込みながら, 地域の行政課題やニーズと合う方策の一つとして売り込む努力が期待されている．

（2）国内外企業との連携

バイオマス資源のエネルギー利用（特に輸送燃料製造）では，以下に述べる観点で，ビジネススキームの上下流連携が求められる．バイオマス資源の利用に当たっては，資源の育成，収穫，前処理などいくつかの要素技術の組み合わせが必要な場合がある．さらに，変換技術や利用技術との組み合わせなど，単一企業のみでは対応が困難なことが多い．このような場合，ビジネススキームの上下流連携の確立が必要であり，また，資源が豊富でバイオ燃料需要のある地域でそのスキームを確立する必要がある．そのために，民間同士の国際連携や官民協同でビジネス機会を積極的に創出することが必要である．

また，技術以外の面での連携も必要となるケースがある．日本からすべての部品を輸出して現地で組み立てるのは多大なコストを要することから，現地で調達できる部品（汎用品など）は可能な範囲で現地で調達し，プラントを作る上で日本から必要最低限持ち込まなければならない中核部品などについては日本から持ち込むというような，低コスト化を工夫する必要がある．現地法人や別の国の法人との競争力を保つ工夫が求められる．

（3）途上国などのニーズ把握，事業環境把握

日本のプラントメーカーが海外に進出していく場合，現地のインフラ条件に合わせてプラントの設計を考慮する必要がある．特に日本国内は，上下水道，電力，道路などのインフラがほぼ整備された状態であるのに対して，海外の新興国では，上下水道が未整備であるケースや，電力のグリッドが未整備な地域あるいは脆弱な地域など，日本とは状況が異なる場合が多い．特にバイオマス関連のプラントでは電力や用水を多く使用し，排水も多いため，現地のインフラ条件を前提とした計画を立てる必要がある．

今後の技術開発や製品開発に役立てるため，国内外のバイオマス資源のエネルギー利用に関する技術データベースを構築し，これを共有するためのプラットフォームを整備する必要がある．技術データベースには，技術内容だけでなく，各国のエネルギー政策や前述した事業環境に関する基礎情報や基礎データなども整備することによって，国際的な競争環境を認識した民間での技術開発を促すことが可能となる．

4.5.3 まとめ

バイオマスエネルギー利用に関しては，中小規模の地産地消と広域大規模化の二極化の方向性があることを示した．大規模施設は，国内である程度設置が進めば，それ以上は原料の取り合いなどから，必ずしもどこででも普及が進むことにはならない．中小規模施設と大規模施設の間には，収集運搬面の問題などから，大規模施設への集約が困難なこともある．畜糞などもともと小さな規模でしか収集できないバイオマスも多く, 施設の大型化や収集輸送に不向きな場合が多い．

今後のバイオマスの有効活用を促進するには，小規模でも地産地消としてのシステム構築が必要である．

小規模の場合，エネルギー変換設備や付帯する周辺設備工事など，採算をとりにくいのが実態である. FIT の導入によって, 地産地消での小型発電レベルでも収益性が良好なケースもあるが, 地産地消レベルの導入を促進するには，中小規模でのエネルギー変換設備のコストダウンやシステムとしての成立要件を押さえることが必須である．

システムの要件として，いかに熱利用を行うか，四季のある日本での利用率を安定させるかが鍵であり，導入時に十分な検討が必要な事項が多い．これらが成立しにくい場合，必要な時期や場所で使えるような燃料化がポイントになるが，これらについてもコストメリットが出るような技術開発が待たれている．

バイオマスエネルギー普及促進の課題は，

①【安定供給】: 路網整備，高効率林業機械の導入，収集運搬の効率化

②【コストダウン】: 設備導入費と運転保守費を合わせた推進

③【副成物の利用】: 肥料や土壌改良材としての有効利用

④【燃料化の備蓄，輸送，利用を踏まえた高度化】: 生産から利用まで一貫した体制

⑤【適切な熱利用施設とのコラボ】: 利用設備の誘致などインフラとの共存

⑥【地域一体型メンテナンスやエンジニアの育成】: 雇用の創出との合わせ技

⑦【データベースの構築】: 導入に向けた設備運用指針やシステムの導入要件の整備

が望まれており，今後 NEDO としてもさらなる技術開発を推進していく．

第４章　参考文献

(1)　バイオマス･ニッポン総合戦略推進会議資料,（2007, 農林水産省）
(2)　総合資源エネルギー調査会需給部会資料,（2009, 資源エネルギー庁）
(3)　Energy Technology Perspective 2012,（2012, IEA）
(4)　Renewables2011 Global Status Report,（2011, REN21）
(5)　Renewable2011 Deploying Renewables2011,（2011, IEA）
(6)　バイオマス新時代,（2011/7, 農林水産省）
(7)　資源・エネルギー統計速報,（2010, 経済産業省）
(8)　EBB プレスリリース, 2010-2011: EU biodiesel industry production forecasts show first decrease in 2011 since data is gathered,（2011, European Biodiesel Board）
(9)　バイオマス活用推進基本計画,（2010 , 農林水産省）
(10)　BIOENERGY - A SUSTAINABLE AND RELIABLE ENERGY SOURCE,（2009, IEA）
(11)　Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation,（2011, IPCC）
(12)　総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料,（2009, 経済産業省）
(13)　バイオマスエネルギー導入ガイドブック,（NEDO, 2010）
(14)　ユーロトレンド,（JETRO, 2011）
(15)　Asia Biomass Office,（NEFF, 2011）
(16)　Renewables information,（2011, IEA）
(17)　電気事業連合会ホームページ/電気事業のデータベース（INFOBASE）, http://www.fepc.or.jp/library/data/infobase/pdf/infobase2012.pdf
(18)　天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル 2008,（2008, 日本エネルギー学会）
(19)　Deploying Renewables 2011,（2011, IEA）
(20)　コスト等検証委員会報告書,（2011, エネルギー・環境会議 コスト等検証委員会）, http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/8th/8-3.pdf
(21)　Solid Biomass Barometer,（2010, EurObserv'ER）
(22)　Biogas Barometer,（2010, EurObserv'ER）
(23)　Solid biomass barometer,（2010, EurObserv'ER）
(24)　Biogas barometer,（2010, EurObserv'ER）
(25)　Electricity Information,（2011, IEA）
(26)　World Energy Outlook 2013, （2013, IEA）
(27)　Renewables Information 2008,（2008, IEA）
(28)　Renewables Information 2005,（2005, IEA）
(29)　European Commission Research & Innovation,
(30)　Biomass multi year program,（2011, EERE）
(31)　2009 Thermochemical Conversion Platform Review Report,（2009, EERE）
(32)　Biopower Technical Strategy Workshop Summary Report,（2010, EERE）
(33)　Central European Biomass Conference 2011,（Markus Schwarz 他）
(34)　Preliminary Screening Technical and Economic Assessment of Synthesis Gas to Fuels and Chemicals with Emphasis on the Potential for Biomass-Derived Syngas,（2003, NREL）
(35)　IEA Energy Technology Essentials,（2007, IEA）
(36)　国産バイオ燃料新時代,（2010, 農林水産省）
(37)　バイオ燃料導入に係る持続可能性基準等に関する検討会,（2010, 経済産業省）
(38)　Beginner's Guide to Aviation Biofuels,（2009, ATAG:Air Transport Action Group）
(39)　Biofuels Barometer,（2011, Eurobserv'er）
(40)　Biomass Multi-Year Program Plan,（2010/3, EERE）
(41)　Biomass Program Recovery Act Factsheet,（2010, EERE）
(42)　U.S Energy Information Administration（http://www.eia.gov/）